ТЕХНОЛОГИЯ
ЛИТЕЙНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

ЦВЕТНОЕ ЛИТЬЕ

СПРАВОЧНИК

Москва
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1989

ББК 34.61я2
Ц27
УДК [621.74.04 : 669.2/.8] (035)

Авторы: **Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук, Ю. В. Моисеев, В. В. Чистяков**

Рецензенты: *Е. Л. Бибиков*, канд. техн. наук *А. М. Надеждин*

Цветное литье: Справочник/Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега,
Ц27 Д. Ф. Иванчук и др.; Под общ. ред. Н. М. Галдина. — М.: Машиностроение, 1989. — 528 с.: ил. — (Технология литейного производства).

ISBN 5-217-00396-0

Приведены основные сведения по техническим требованиям к отливкам из цветных сплавов, технологичности конструкции литых деталей, литейным цветным сплавам, шихтовым и формовочным материалам, оснастке и оборудованию, технологии литья и термической обработке, финишным операциям, контролю качества и технике безопасности.

Для инженерно-технических работников литейного производства, может быть также полезен студентам вузов.

Ц $\frac{2704020000-136}{038(01)-89}$ 136—89 ББК 34.61я2

ISBN 5-217-00396-0

© Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др., 1989

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 5

Условные обозначения и принятые сокращения 6

Глава I. **Проектирование отливок** (*Н. М. Галдин*) 7
1. Технические требования к отливкам 7
2. Технологичность конструкций литых деталей 21
3. Примеры создания технологичных конструкций литых деталей и их элементов 39

Глава II. **Проектирование и освоение литейной технологии** (*Н. М. Галдин*) 43
1. Литниковые системы для заливки форм под напором стояка 43
2. Прибыли 85
3. Холодильники 110
4. Этапы проектирования и освоения литейной технологии 112
5. Требования к оформлению технологической документации 114
6. Моделирование литейных процессов 121

Глава III. **Шихтовые материалы** (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 129
1. Металлическая шихта . . 129
2. Неметаллическая шихта . . 156
3. Методика расчета шихты 156

Глава IV. **Литейные сплавы** (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 168
1. Алюминиевые сплавы . . . 168
2. Магниевые сплавы 185
3. Тугоплавкие сплавы 193
4. Медные сплавы 197
5. Никелевые сплавы 212
6. Медно-никелевые сплавы 216
7. Цинковые сплавы 221
8. Легкоплавкие сплавы на основе олова, свинца, сурьмы, кадмия и висмута 228

Глава V. **Материалы для изготовления форм и стержней** (*В. В. Чистяков*) 233
1. Разовые формы и стержни 233
2. Постоянные формы и стержни, литейная оснастка 261
3. Защитные и огнеупорные покрытия форм и стержней . . . 267
4. Особенности регенерации отработанных песков и смесей 273

Глава VI. **Плавка литейных сплавов** (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 277
1. Классификация плавильных печей 278
2. Пламенные печи 280
3. Электрические печи 282
4. Особенности плавки цветных металлов и сплавов 300
5. Приготовление лигатур . . 309
6. Переплавка отходов 312

Глава VII. **Заливка форм** (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 315
1. Общие положения 315
2. Ковши для транспортирования и заливки цветных сплавов 315
3. Способы заливки форм . . . 317
4. Особенности заливки алюминиевых и магниевых сплавов 319
5. Особенности заливки тугоплавких сплавов 320
6. Особенности заливки медных, никелевых и медно-никелевых сплавов 321

7. Особенности заливки цинковых и легкоплавких сплавов 322

Глава VIII. **Особенности технологии изготовления отливок специальными способами литья** (*Д. Ф. Чернега, Ю. В. Моисеев*) 323
1. Классификация и технологические возможности способов литья 323
2. Литье в кокиль 326
3. Литье под давлением . . 336
4. Литье по выплавляемым моделям (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 352
5. Литье в оболочковые формы (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 374
6. Литье в керамические формы, изготовленные по постоянным моделям (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 389
7. Литье в гипсовые формы (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 393
8. Литье под низким давлением с противодавлением и вакуумным всасыванием . . . 400
9. Литье выжиманием и погружением 410
10. Литье с направленной кристаллизацией 415
11. Центробежное литье и литье с кристаллизацией под давлением 419

Глава IX. **Финишные операции по обработке отливок** (*Н. М. Галдин*) 429
1. Выбивка, обрезка, очистка, обрубка, зачистка, химическая обработка отливок 430
2. Термическая обработка отливок 447
3. Защита отливок от коррозии 464

Глава X. **Виды дефектов, способы их предотвращения и исправления. Контроль качества отливок** (*Н. М. Галдин*) 470
1. Классификация дефектов и причины их образования . . 470
2. Исправление дефектов отливок 483
3. Контроль качества отливок 491

Глава XI. **Производственная санитария и техника безопасности при литье цветных сплавов** (*Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук*) 506
1. Общие положения 506
2. Производственная санитария 506
3. Требования безопасности при производстве отливок из цветных сплавов 510

Список литературы 515

Предметный указатель 519

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цветное литье — это производство фасонных отливок из цветных сплавов, т. е. сплавов, основу которых составляют любые металлы, кроме железа.

Цветные металлы и сплавы условно подразделяют на легкие и тяжелые. К легким относятся металлы, плотность которых не превышает 5 г/см^3, — магний, бериллий, алюминий, титан и др. Тяжелыми являются металлы с плотностью более 5 г/см^3.

Отливки из тяжелых цветных сплавов, главным образом бронз и латуней, начали изготовлять за 3—7 тысячелетий до н. э. Эти сплавы на протяжении многих веков были главным материалом для фасонного цветного литья.

В 1910—1920 гг. разработали новые цветные сплавы на основе алюминия и магния, которые получили название легких сплавов. К этим же сплавам относятся титановые сплавы.

История возникновения и применения цветных сплавов наложила свой отпечаток и на техническую литературу, в которой до сих пор раздельно излагают сведения, относящиеся к технологии изготовления отливок из легких и тяжелых цветных сплавов. Авторы справочника «Цветное литье» отошли от традиционно принятого раздельного изложения материала о литье легких и тяжелых цветных сплавов, что является первой особенностью справочника.

Вторая особенность справочника состоит в том, что в нем большое внимание уделено технологии производства отливок. При этом авторы учитывали, что по технологическому литейному оборудованию имеется специальная справочная литература, в которой читатель может при необходимости найти ответы на те вопросы, которые у него могут возникнуть при использовании этого справочника.

При отборе и изложении материала авторы стремились привести сведения по всему кругу технологических вопросов, с которыми приходится сталкиваться на производстве прежде всего технологам-литейщикам, начиная от разработки технических требований к чертежу литой заготовки и проектирования литейной технологии и кончая вопросами техники безопасности при производстве отливок из цветных сплавов.

Все замечания по содержанию справочника будут приняты авторами с большой благодарностью.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

Механические и физические свойства материалов:

α — коэффициент линейного расширения;

$\sigma_в$ — временное сопротивление;

$\sigma_т$ — предел текучести;

$\sigma_{0,2}$ — условный предел текучести;

σ_{100} — предел длительной прочности;

δ — относительное удлинение;

δ_5 — относительное удлинение после разрыва (образцов с пятикратным отношением длины к диаметру);

ψ — относительное сужение;

γ, ρ — плотность;

λ — коэффициент теплопроводности;

τ — время выдержки при термической обработке;

$a_н$ — ударная вязкость;

E — модуль продольной упругости (модуль Юнга);

НВ — твердость по Бринеллю;

$t_{нагр}$ — температура нагрева отливок при термической обработке;

$t_{охл}$ — температура охлаждения отливок при термической обработке;

t_L — температура ликвидуса;

t_S — температура солидуса.

Способы литья:

В — по выплавляемым моделям;

Г — в гипсовые формы;

Д — под давлением;

К — в кокиль;

КД — с кристаллизацией под давлением;

НД — под низким давлением;

О — в оболочковые формы;

П — в песчаные формы;

Ц — центробежный;

ПК — прессование с кристаллизацией под давлением.

Виды термической обработки:

Т1 — искусственное старение;

Т2 — отжиг;

Т4 — закалка;

Т5 — закалка и кратковременное (неполное) искусственное старение;

Т6 — закалка и полное искусственное старение;

Т7 — закалка и стабилизирующий отпуск;

Т8 — закалка и смягчающий отпуск.

Сокращения:

мас. доля — массовая доля;

мас. часть — массовая часть;

объем. доля — объемная доля;

ЛВЖ — легковоспламеняющаяся жидкость.

Глава I
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТЛИВОК

1. Технические требования к отливкам

Назначение технических требований. К отливкам предъявляют следующие технические требования: *общие* — по размерной и массовой точности, шероховатости поверхности, механическим свойствам, качеству литого металла и *специальные* — по герметичности, коррозионной стойкости, износостойкости и др.

Технические требования к отливкам регламентируются ГОСТами и ОСТами, а в некоторых случаях — дополнительно стандартами предприятий-изготовителей отливок. Кроме того, специальные требования к отливкам могут оговариваться в чертежах литых деталей при их разработке.

Назначение технических требований зависит прежде всего от назначения литой детали, применяемого сплава, технологических возможностей литейного цеха, а также экономической целесообразности. При технической невозможности или экономической нецелесообразности обеспечения отдельных требований к отливкам при их изготовлении (например, необходимой точности размеров детали или шероховатости поверхности) выполнение этих требований обеспечивается обработкой резанием, что предусматривается в технологическом процессе изготовления детали.

Отливки из цветных сплавов по условиям применения и в зависимости от объема приемосдаточных испытаний делят на три категории ответственности.

К категории I относятся отливки, длительно работающие в неблагоприятных условиях под значительными нагрузками. Такие отливки подвергают индивидуальному контролю вихревыми токами, рентгенопросвечиванием, флуоресцентному контролю. Для отливок этой категории предусмотрено выборочное испытание механических свойств на образцах, вырезанных из тела контрольных отливок с одновременным испытанием механических свойств на отдельно отлитых образцах от каждой плавки, или поштучное испытание на образцах, вырезанных из прилитой к каждой отливке заготовки, а также поштучный контроль на плотность.

Отливки категории II используются в нормальных условиях под средними нагрузками и подвергаются выборочному контролю рентгенопросвечиванием. Для отливок этой категории предусмотрено испытание механических свойств на отдельно отлитых образцах от плавки или выборочное испытание на образцах, вырезанных из прилитой к отливке заготовки, а также поштучный или выборочный контроль на плотность.

К категории III относятся малонагруженные отливки, которые рентгенопросвечиванию не подвергаются. Для отливок этой категории механические свойства определяют на отдельно отлитых образцах от плавки или при выборочном испытании образцов, вырезанных из прилитой к отливке заготовки.

Химический состав и механические свойства сплавов в отливках должны соответствовать требованиям ГОСТов или отраслевых стандартов.

В зависимости от массы, габаритных размеров, толщины стенки, класса точности размеров, категории ответственности отливки из алюминиевых и магниевых сплавов подразделяют на шесть групп сложности (табл. 1). Для опре-

1. Кл[illegible] ...х отливок

Параметр отливки						
					5	6
Масса без литников и прибылей, кг, не более			8	30	15	8
Габаритные размеры, мм			250—1000	100—400	100—250	До 100
Толщина стенки, мм	4,5-	-6	4—6	1,5—5	Не ограничивается	
Число размеров, определяющих отливку	До 200	150—200	100—150	До 100	До 100	До 100
Класс точности размеров (по ГОСТ 26645—85)	6—13 т	5т—13т	5т—13т	3т—13т	3т—13т	3т—13т
Число стержней	До 15	До 10	До 10	До 8	До 5	Нет
Категория ответственности	I	I	I, II	I, II	II, III	II, III

деления группы сложности конкретной отливки необходимо сопоставить ее параметры с параметрами отливок каждой из групп сложности. По наибольшему числу признаков, но не менее чем по четырем, отливку относят к той или иной группе.

Допускаемые отклонения размеров отливок. Под размерной точностью понимают степень соответствия фактических размеров отливок размерам, указанным в чертеже детали и в технических условиях на отливки. *Геометрическую точность* изготовления отливок оценивают, как правило, по четырем параметрам, которыми являются точность основных размеров отливки, выполнения криволинейных поверхностей, расположения отдельных поверхностей друг относительно друга, а также шероховатость литой поверхности. При разработке чертежа литой детали необходимо учесть, что *допуски размеров* являются суммарными, и ограничить погрешности, возникшие на разных стадиях изготовления отливки, по всем указанным параметрам. Изменение размеров отливок из-за литейных уклонов в величину допусков не входит.

Точность размеров отливки зависит от ее габаритных размеров, сложности конфигурации, способа литья и применяемого сплава. С возрастанием сложности и габаритных размеров точность отливок уменьшается, так как уменьшается точность изготовления литейных форм и модельной оснастки, а также стабильность температурных режимов при затвердевании и остывании отливки.

Для каждого способа литья характерен ряд факторов, влияющих на размерную точность отливок. Например, при литье в металлические формы (литье под давлением, в кокиль и т. д.) на точность отливок наибольшее влияние оказывают: точность изготовления форм и стержневых ящиков, постоянство толщины защитных покрытий рабочих поверхностей форм, число разъемов формы и плотность сопряжения ее отдельных частей, температура формы при заливке, постоянство усадки сплава и др. На точность изготовления отливок в песчаных формах главным образом влияют точность изготовления модельной и стержневой оснастки, а также способ изготовления формы: на машинах, вручную, сырая или сухая форма и т. д. При литье в оболочковые формы точность размеров отливок зависит от точности изготовления модельной оснастки, способов крепления полуформ при сборке и заливке форм (в жакетах с опорным материалом или без него) и т. д. При литье по выплавляемым моделям точность

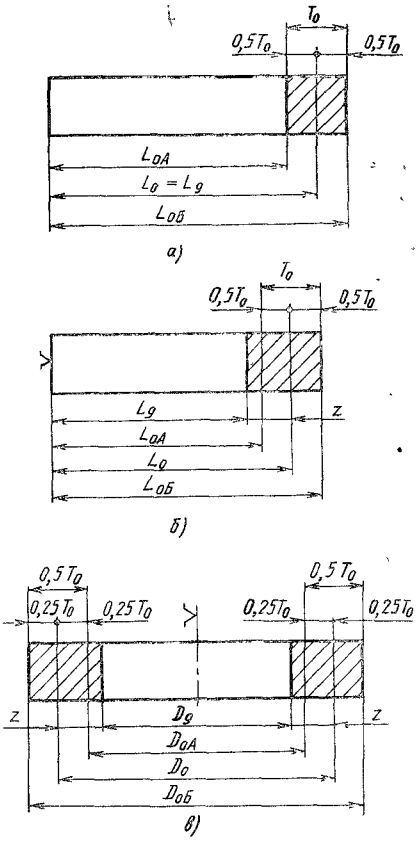


Рис. 1. Взаимосвязь между размерами отливки, допусками и припусками на обработку резанием:

$L_д$ и $D_д$ — номинальный размер детали; L_0 и D_0 — номинальный размер отливки; L_{0A} и D_{0A} — наименьший размер отливки; $L_{0Б}$ и $D_{0Б}$ — наибольший размер отливки; T_0 — допуск отливки; Z — припуск (средний) на обработку резанием

размеров отливок зависит от материала пресс-формы и точности ее изготовления, модельного состава, состава керамического покрытия, способа формовки оболочек перед заливкой и некоторых других факторов.

Допуски размеров отливок регламентирует ГОСТ 26645—85. Взаимосвязь между номинальным размером до необрабатываемой поверхности детали, номинальным и предельными размерами и допуском отливки показана на рис. 1, *а*. Взаимосвязь между номинальным размером до обрабатываемой поверхности детали, номинальным и предельными размерами отливки, припуском на сторону на обработку резанием и допуском отливки при обработке каждой поверхности отливки от своей базы показана на рис. 1, *б*; при обработке отливок типа тел вращения или противоположных поверхностей симметричных отливок от общей базы — на рис. 1, *в*.

Допуски линейных размеров отливок без учета их смещения и коробления приведены в табл. 2. Допуски угловых размеров в пересчете на линейные не должны превышать значений, указанных в этой таблице.

При назначении допусков и припусков на обработку за номинальный размер наклонных, конических и фасонных поверхностей, заданных координатами от одной базы (кроме поверхностей, наклон которых вызван формовочными уклонами), следует принимать наибольший их размер.

Допуски размеров элементов отливки, образованных двумя полуформами и перпендикулярных к плоскости разъема, устанавливают в соответствии с классом точности размеров отливки. Допуски размеров элементов, образованных одной частью формы или одним стержнем, устанавливают на один-два класса точнее. Допуски размеров элементов, образованных тремя и более частями формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также толщины стенок, ребер и фланцев устанавливают на один-два класса грубее. Допуски размеров от предварительно обработанной поверхности, используемой в качестве базы, до литой поверхности устанавливают на два класса точнее.

Стандартом допускается устанавливать симметричные и несимметричные предельные отклонения размеров, при этом предпочтительно следующее расположение полей допусков:

несимметричное одностороннее «в тело» — для размеров элементов отливки (кроме толщин стенок), расположенных в одной части формы и не подвергае-

2. Допуски (мм, не более) линейных размеров отливок (по ГОСТ 26645—85)

Интервалы номинальных размеров (свыше—до), мм	Классы точности размеров отливок										
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8
До 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64
4—6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70
6—10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80
10—16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90
16—25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00
25—40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10
40—63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20
63—100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40
100—160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60
160—250	—	—	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80
250—400	—	—	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
400—630	—	—	—	—	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,40
630—1 000	—	—	—	—	—	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40
1 000—1 600	—	—	—	—	—	—	—	1,40	1,80	2,20	2,80
1 600—2 500	—	—	—	—	—	—	—	—	2,00	2,40	3,20
2 500—4 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,20	3,60
4 000—6 300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6 300—10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Интервалы номинальных размеров (свыше—до), мм	Классы точности размеров отливок										
	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 4	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	—	—	—	—	—	—
4—6	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	—	—	—	—	—
6—10	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	—	—	—
10—16	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	—	—
16—25	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12
25—40	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14
40—63	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16
63—100	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18
100—160	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12	16	20
160—250	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14	18	22
250—400	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	100	12,0	16	20	24
400—630	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	110	14,0	18	22	28
630—1 000	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	100	120	16,0	20	24	32
1 000—1 600	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	110	140	18,0	22	28	36
1 600—2 500	4,0	5,0	6,4	8,0	100	120	160	20,0	24	32	40
2 500—4 000	4,4	5,6	7,0	9,0	110	140	180	22,0	28	36	44
4 000—6 300	6,0	6,4	8,0	100	120	160	200	24,0	32	40	50
6 300—10000	—	8,0	100	120	160	200	240	32,0	40	50	64

3. Предельные отклонения (мм) смещений * от номинального положения элементов отливок по плоскости разъема формы (по ГОСТ 26645—85)

Расстояние между центрирующими устройствами формы (свыше—до), мм	Классы точности размеров отливок									
	1—3	4—5т	5—6	7т—7	8—9т	9—10	11т—11	12—13т	13—14	15—16
До 630	0,24	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
630—1600	0,30	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
1600—4000	0,40	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0
Св. 4000	0,50	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0

* Предельные отклонения смещений от номинального положения симметричны.

мых механической обработке, при этом для охватывающих элементов (отверстие) поле допуска располагают «в плюс», а для охватываемых (вал) — в «минус»;

симметричное — для размеров всех остальных элементов отливок, не подвергаемых и подвергаемых механической обработке.

Предельные отклонения смещения от номинального положения элементов отливки по плоскости разъема формы приведены в табл. 3; предельные отклонения коробления элементов отливок — в табл. 4.

Степень коробления элементов отливки зависит от соотношения размеров ее сторон:

Отношение наименьшего габаритного размера отливки к наибольшему	Св. 0,20	0,2—0,1	0,1—0,05	До 0,05
Степень коробления элемента отливки	1—7	2—8	3—9	4—10

Меньшие значения степеней коробления относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов, не подвергаемых термообработке; большие значения — к сложным, термически обрабатываемым отливкам.

Предельные отклонения массы отливок. *Номинальной массой* отливки является масса детали с учетом припусков на обработку резанием. Отклонение массы отливки зависит от ее номинального значения, способа литья и точности изготовления детали.

Допускаемые верхние отклонения массы отливок приведены в табл. 5; нижние отклонения массы оговаривают в особых случаях в чертеже отливки и ограничивают отклонениями размеров литой детали.

Припуски на обработку отливок резанием назначают с целью достижения заданных чертежом конечного или промежуточного размеров, шероховатости поверхности детали и качества поверхностного слоя металла отливки. Минимальные припуски определяют в зависимости от класса точности отливки, ее номинального и габаритного размеров, положения при заливке, способа литья и вида сплава.

Основные и дополнительные припуски на механическую обработку (на сторону) назначают в зависимости от допусков размеров отливок и устанавливают их дифференцированно для каждого элемента отливки в соответствии с ГОСТ 26645—85.

Для каждого интервала значений

4. Предельные отклонения (мм) короблений * элементов отливок (по ГОСТ 26645—85)

Интервалы наибольших габаритных размеров отливки (свыше—до), мм	Степень коробления отливки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До 100	—	—	—	—	—	0,10	0,16	0,24	0,4	0,5
100—160	—	—	—	—	0,10	0,16	0,24	0,40	0,6	1,0
160—240	—	—	—	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,0	1,6
240—400	—	—	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,6	2,4
400—630	—	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,4	4,0
630—1 000	0,1	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,0	6,0
1 000—1 600	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,0	10,0
1 600—2 400	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,00	10,0	16,0
2 400—4 000	—	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,00	10,00	16,0	24,0
4 000—6 300	—	—	1,60	2,40	4,00	6,00	10,00	16,00	24,0	40,0
6 300—10000	—	—	—	4,00	6,00	10,00	16,00	24,00	40,0	60,0

* Предельные отклонения короблений симметричны.

допусков размеров отливки в каждом ряду припусков предусмотрены два значения *основного припуска* (табл. 6). Меньшее значение припуска устанавливают для более грубых квалитетов точности обработки деталей; большее значение припуска — для более точных квалитетов (табл. 7).

При более высоких требованиях к точности размеров обрабатываемых деталей, чем это предусмотрено в табл. 7, допускается увеличение основного припуска до ближайшего большего значения из того же ряда.

Основные припуски назначают на размеры поверхностей отливки, находящихся при заливке снизу или сбоку. На поверхности, расположенные при заливке вверху, допускается увеличивать припуск до значения, соответствующего следующему ряду припусков (см. табл. 6).

Дополнительный припуск (табл. 8), компенсирующий отклонения расположения элементов отливки: коробление, смещение по плоскости разъема, погрешность расположения обрабатываемой поверхности относительно базы обработки, назначают в том случае, если наибольшее из предельных отклонений расположения превышает половину допуска на соответствующий размер отливки. *Общий припуск* на механическую обработку устанавливают равным сумме основного и дополнительного припусков.

Рекомендуемые в ГОСТ 26645—85 классы точности размеров и масс отливок и ряды припусков на механическую обработку отливок для различных сплавов и способов литья приведены в табл. 9.

Обеспечение точности титановых отливок представляет собой сложную технологическую задачу. Помимо общих для литейного производства факторов, вызывающих погрешности геометрической формы отливок, при производстве титановых отливок действуют дополнительные факторы.

Так, большую погрешность вызывают отклонения зернового состава графитовой смеси, сушка и прокаливание форм, вызывающие значительные изменения размеров. Высокий уровень давления металла на форму при центробежной заливке обусловливает деформацию форм и т. п. Все это приводит к тому, что точность титановых отливок оказывается несколько ниже, чем точность отливок из других сплавов, полученных аналогичными методами.

5. Верхние предельные отклонения (%) массы отливок (по ГОСТ 26645—85)

Интервалы номинальных масс (свыше—до), кг	Классы точности массы отливки										
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8
До 0,10	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0
0,10—0,25	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
0,25—0,63	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
0,63—1,00	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
1,00—2,50	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0
2,50—6,30	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0
6,30—10	—	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0
10—25	—	—	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0
25—63	—	—	—	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
63—100	—	—	—	—	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
100—250	—	—	—	—	—	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
250—630	—	—	—	—	—	—	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
630—1 000	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,6	0,8	1,0
1 000—2 500	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,6	0,8
2 500—6 300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,6
6 300—10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5
10000—25000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 25 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Интервалы номинальных масс (свыше—до), кг	Классы точности массы отливки										
	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 0,10	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,10—0,25	16,0	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,25—0,63	12,0	16,0	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—
0,63—1,00	10,0	12,0	16,0	20,0	—	—	—	—	—	—	—
1,00—2,50	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	—	—	—	—	—	—
2,50—6,30	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	—	—	—	—	—
6,30—10	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	—	—	—	—
10—25	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	—	—	—
25—63	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	—	—
63—100	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	—
100—250	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0
250—630	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0
630—1 000	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
1 000—2 500	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
2 500—6 300	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
6 300—10000	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0
10000—25000	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0
Св. 25 000	—	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0

6. Основные припуски (мм, не более) на обработку отливок резанием

Допуски размеров отливок (свыше—до), мм	Ряд припуска					
	1	2	3	4	5	6
До 0,12	0,2 0,4	—	—	—	—	—
0,12—0,16	0,3 0,5	0,6 0,8	—	—	—	—
0,16—0,20	0,4 0,6	0,7 1,0	1,0 1,4	—	—	—
0,20—0,24	0,5 0,7	0,8 1,1	1,1 1,5	—	—	—
0,24—0,30	0,6 0,8	0,9 1,2	1,2 1,6	1,8 2,2	2,6 3,0	—
0,30—0,40	0,7 0,9	1,0 1,3	1,4 1,8	1,9 2,4	2,8 3,2	—
0,40—0,50	0,8 1,0	1,1 1,4	1,5 2,0	2,0 2,6	3,0 3,4	—
0,50—0,60	0,9 1,2	1,2 1,6	1,6 2,2	2,2 2,8	3,2 3,6	—
0,60—0,80	1,0 1,4	1,3 1,8	1,8 2,4	2,4 3,0	3,4 3,8	4,4 5,0
0,80—1,0	1,1 1,6	1,4 2,0	2,0 2,8	2,6 3,2	3,6 4,0	4,6 5,5
1,0—1,2	1,2 2,0	1,6 2,4	2,2 3,0	2,8 3,4	3,8 4,2	4,8 6,0
1,2—1,6	1,6 2,4	2,0 2,8	2,4 3,2	3,0 3,8	4,0 4,6	5,0 6,5
1,6—2,0	2,0 2,8	2,4 3,2	2,8 3,6	3,4 4,2	4,2 5,0	5,5 7,0
2,0—2,4	2,4 3,2	2,8 3,6	3,2 4,0	3,8 4,6	4,6 5,5	6,0 7,5

Продолжение табл. 6

Допуски размеров отливок (свыше—до), мм	Ряд припуска					
	1	2	3	4	5	6
2,4—3,0	2,8 3,6	3,2 4,0	3,6 4,5	4,2 5,0	5,0 6,5	6,5 8,0
3,0—4,0	3,4 4,5	3,8 5,0	4,2 5,5	5,0 6,5	5,5 7,0	7,0 9,0
4,0—5,0	4,0 5,5	4,4 6,0	5,0 6,5	5,5 7,5	6,0 8,0	8,0 10,0
5,0—6,0	5,0 7,0	5,5 7,5	6,0 8,0	6,5 8,5	7,0 9,5	9,0 11,0
6,0—8,0	—	6,5 9,5	7,0 10,0	7,5 11,0	8,5 12,0	10,0 13,0
8,0—10,0	—	—	9,0 12,0	10,0 13,0	11,0 14,0	12,0 15,0
10,0—12,0	—	—	10,0 13,0	11,0 14,0	12,0 15,0	13,0 16,0
12,0—16,0	—	—	13,0 15,0	14,0 16,0	15,0 17,0	16,0 19,0
16,0—20,0	—	—	—	17,0 20,0	18,0 21,0	19,0 22,0
20,0—24,0	—	—	—	20,0 23,0	21,0 24,0	22,0 25,0
24,0—30,0	—	—	—	—	26,0 29,0	27,0 30,0
30,0—40,0	—	—	—	—	—	34,0 37,0
40,0—50,0	—	—	—	—	—	42,0
50,0—60,0	—	—	—	—	—	50,0

7. Классы точности размеров отливок в зависимости от точности размеров деталей, получаемых при обработке резанием (по ГОСТ 26645—85)

Класс точности размеров отливок	1—3т	3—5т	5—7	7—9	9—16
Точность размеров деталей, получаемых при обработке отливок резанием, квалитеты	IT9 и грубее	IT10 и грубее	IT11 и грубее	IT12 и грубее	IT13 и грубее
	IT8 и точнее	IT8—IT9	IT9—IT10	IT9—IT11	IT10—IT12

Недостаточная точность фасонных отливок может служить препятствием к применению титана для крупногабаритных деталей и деталей с тонкими стенками, для которых поле допуска соизмеримо с толщиной стенки. Иногда смещают симметричное поле допуска в сторону утолщения стенки, что равносильно увеличению номинального размера. Однако это приводит к уве-

8. Дополнительные припуски на обработку отливок резанием

Допуск размера отливки (свыше—до)	Наибольшая погрешность расположения (свыше—до)	Дополнительный припуск
мм		
До 0,06	До 0,12	0,1
0,06—0,08	0,03—0,12	0,1
	0,12—0,16	0,2
0,08—0,10	0,04—0,16	0,1
	0,16—0,20	0,2
0,10—0,12	0,05—0,16	0,1
	0,16—0,24	0,2
0,12—0,16	0,06—0,20	0,1
	0,20—0,30	0,2
0,16—0,20	0,08—0,20	0,1
	0,20—0,30	0,2
	0,30—0,40	0,3

Продолжение табл. 8

Допуск размера отливки (свыше—до)	Наибольшая погрешность расположения (свыше—до)	Дополнительный припуск
мм		
0,20—0,24	0,10—0,24	0,1
	0,24—0,40	0,2
	0,40—0,50	0,4
0,24—0,30	0,12—0,24	0,1
	0,24—0,40	0,2
	0,40—0,50	0,3
	0,50—0,60	0,5
0,30—0,40	0,15—0,30	0,1
	0,30—0,40	0,2
	0,40—0,50	0,3
	0,50—0,60	0,4
	0,60—0,80	0,6
0,40—0,50	0,20—0,40	0,1
	0,40—0,50	0,2
	0,50—0,60	0,3
	0,60—0,80	0,5
	0,80—1,00	0,8

Продолжение табл. 8

Допуск размера отливки (свыше—до)	Наибольшая погрешность расположения (свыше—до)	Дополнительный припуск
мм		
0,50—0,60	0,25—0,50	0,1
	0,50—0,60	0,3
	0,60—0,80	0,4
	0,80—1,00	0,6
	1,00—1,20	1,0
0,60—0,80	0,30—0,50	0,1
	0,50—0,60	0,2
	0,60—0,80	0,4
	0,80—1,00	0,5
	1,00—1,20	0,8
	1,20—1,60	1,2
0,8—1,0	0,4—0,6	0,1
	0,6—0,8	0,2
	0,8—1,0	0,4
	1,0—1,2	0,6
	1,2—1,6	1,0
	1,6—2,0	1,6
1,0—1,2	0,5—0,8	0,2
	0,8—1,0	0,3
	1,0—1,2	0,5
	1,2—1,6	0,8
	1,6—2,0	1,2
	2,0—2,4	2,0

Продолжение табл. 8

Допуск размера отливки (свыше—до)	Наибольшая погрешность расположения (свыше—до)	Дополнительный припуск
мм		
1,2—1,6	0,6—1,0	0,2
	1,0—1,2	0,3
	1,2—1,6	0,6
	1,6—2,0	1,0
	2,0—2,4	1,6
	2,4—3,0	2,4
1,6—2,0	0,8—1,2	0,2
	1,2—1,6	0,3
	1,6—2,0	0,8
	2,0—2,4	1,2
	2,4—3,0	2,0
	3,0—4,0	3,0
2,0—2,4	1,0—1,6	0,3
	1,6—2,0	0,4
	2,0—2,4	1,0
	2,4—3,0	1,6
	3,0—4,0	2,4
	4,0—5,0	4,0
2,4—3,0	1,2—2,0	0,3
	2,0—2,4	0,5
	2,4—3,0	1,2
	3,0—4,0	2,0
	4,0—5,0	3,0
	5,0—6,0	5,0

личению массы изделий и повышению расхода металла.

Требования к шероховатости поверхностей отливок. От состояния поверхности во многом зависят служебные свойства (прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, долговечность и др.) и товарный вид литых деталей. Если же литая деталь предназначена для работы в потоке газов или жидкостей, то от состояния литой поверхности зависят такие характеристики, например, насосов, турбин, вентиляторов, как их подача или долговечность. Кроме того, чем меньше шероховатость поверхности отливки, тем она точнее, тем меньше припуски на обработку резанием и трудоемкость этой операции и зачистных работ.

Качество поверхностей отливок в целом оценивают по степени их шероховатости и наличию поверхностных дефектов в виде неотделимого пригара, наростов, оксидов, волнистости и других неровностей. Требования к шероховатости поверхностей отливок устанавливают исходя из их функционального назначения.

В соответствии с ГОСТ 2789—73 указывают наибольшее или номинальное значение (диапазон значений) следующих параметров: среднего арифметического отклонения Ra, высоты неровностей профиля по десяти точкам Rz или наибольшей высоты неровностей профиля R_{max} и базовой длины, на которой происходит определение параметров (рис. 2). В требованиях к шеро-

9. Классы точности размеров и масс отливок, ряды припусков на обработку резанием отливок при различных способах литья

Способ литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Классы точности размеров и масс отливок, ряды припусков для сплавов с температурой плавления, °С	
		ниже 700	выше 700
Под давлением в металлические формы	До 100	3т—5 / 1	3—6 / 1
	Св. 100	3—6 / 1	4—7т / 1
В керамические формы, по выплавляемым и выжигаемым моделям	До 100	3—6 / 1	4—7т / 1—2
	Св. 100	4—7 / 1—2	5т—7 / 1—2
В кокиль и под низким давлением в металлические формы без стержней и с песчаными стержнями; в песчаные формы, отверждаемые в контакте с оснасткой	До 100	4—9 / 1—2	5т—10 / 1—3
	Св. 100 до 630	5т—10 / 1—3	5—11т / 1—3
	Св. 630	5—11т / 1—3	6—11 / 2—4
В песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой; центробежный; в сырые и сухие песчаные формы	До 630	6—11 / 2—4	7т—12 / 2—4
	Св. 630 до 4000	7—12 / 2—4	8—13т / 3—5
	Св. 4000	8—13т / 3—5	9т—13 / 3—6

Примечание. В числителе указаны классы точности размеров и масс, в знаменателе — ряды припусков. Меньшие значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства; большие значения — к сложным отливкам мелкосерийного или единичного производства; средние — к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства. Классы точности масс должны соответствовать классам точности отливок.

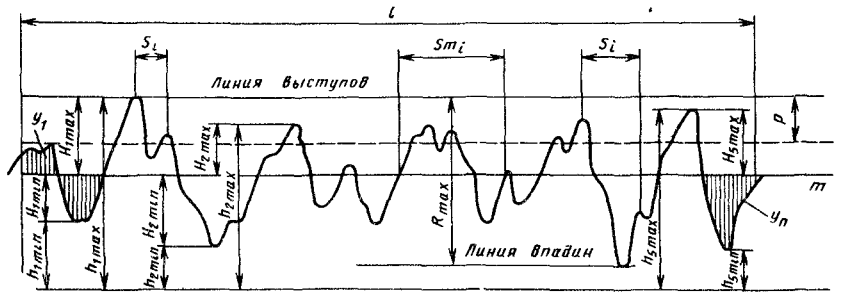


Рис. 2. Схема профиля поверхности:

l — базовая длина участка поверхности, выбираемая для измерения шероховатости; *m* — средняя линия профиля; R_{max} — наибольшая высота неровностей профиля; Sm_i — средний шаг неровностей профиля; $H_{i\,max}$ и $H_{i\,min}$ — отклонения соответственно пяти наибольших максимумов и минимумов профиля; S_i — средний шаг неровностей профиля по вершинам; $h_{i\,max}$ и $h_{i\,min}$ — расстояния от высших точек пяти наибольших максимумов и от низших точек пяти наибольших минимумов до линии, параллельной средней и не пересекающей профиль; y_1 — расстояние между любой точкой профиля и средней линией; *p* — уровень сечения профиля

ховатости не учитывают дефекты литой поверхности, допустимые размеры которых оговаривают отдельно.

Соответствие шероховатости поверхности техническим условиям оценивают на отливках, поверхность которых подвергалась очистке (дробью, металлическим песком и др.) в соответствии с установленной технологией. Замеры проводят на участках поверхности отливок, лишенных литейных дефектов.

На рис. 3 даны профилограммы литых поверхностей и поверхностей, полученных штамповкой. Профилограммы сняты во взаимно перпендикулярных направлениях на базовой длине 4 мм; за начало отсчета принята впадина минимальной глубины. Характер микронеровностей поверхностей, образованных штамповкой, ближе всего к характеру микронеровностей поверхностей отливок, полученных литьем под давлением, далее — к поверхностям отливок, полученных в песчаных формах, ручной или машинной формовкой, встряхиванием.

Шероховатость поверхностей отливок в зависимости от их размеров, вида

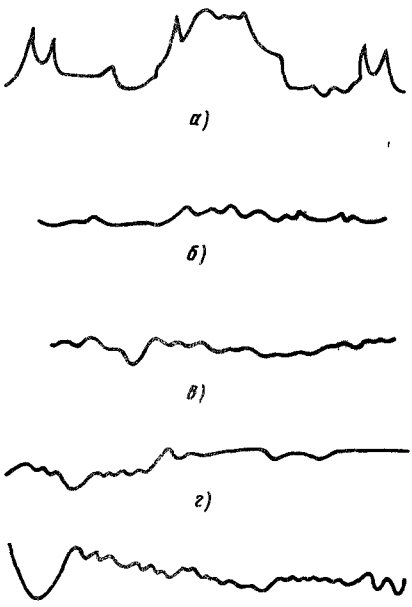


Рис. 3. Профилограммы поверхностей отливок из алюминиевых сплавов, полученных различными способами литья и обработкой давлением:

а — машинная формовка прессованием; *б* — литье под давлением; *в* — литье в вакуум-пленочные формы с цирконовым покрытием; *г* — горячая штамповка; *д* — холодная штамповка

10. Шероховатость поверхностей отливок, получаемых различными способами литья

Способ литья	Максимальный размер отливки (свыше—до), мм	Шероховатость Rz (Ra) (мкм) поверхностей отливок		
		из алюминиевых и магниевых сплавов	из цинковых сплавов	из бронзы и латуни
Д	До 500	До 20 (2,5—0,32)	До 20 (2,5—0,32)	До 40 (2,5—1,25)
В	До 100	10—80	10—40	20—80
	100—200	10—80	10—80	20—80
	200—500	10—80	—	20—80
О	До 200	40—160	—	80—320
	200—400	40—160	—	80—320
	400—700	40—160	—	80—320
Г	До 800	20 (2,5—1)	10—20	40—80
К	До 500	20—160	20—120	40—320
НД	До 500	10—80	10—40	—
П при формовке: ручной	До 800	80—320	—	160—630
	До 1500	160—320	—	320—1000
машинной встряхиванием	До 200	40—160	—	80—320
	200—400	80—320	—	160—450
	400—700	80—320	—	160—450
	700—1200	160—450	—	160—630
вакуум-пленочной	150—800	40—80	—	40—120
	800—1200	40—160	—	40—160

сплава и способа литья приведена в табл. 10.

Наиболее низкая шероховатость поверхностей отливок может быть достигнута при высокой культуре производства и принятии специальных технологических мер, снижающих шероховатость поверхности.

Шероховатость поверхности отливок, полученных литьем в песчаные формы, снижается при подборе составов формовочных и стержневых смесей и способа их уплотнения, а также при нанесении красок на рабочие поверхности формы.

Хорошие результаты по снижению шероховатости дает металлизация поверхностей форм и стержней. Металлическое покрытие наносят разными способами: электрометаллизацией, распылением порошка ацетиленовоздушным пламенем, плазменным напылением и др.

Для электрометаллизации поверхностей форм и стержней используют металлизаторы типа ЭМ-14. Плазменное напыление проводят с помощью промышленных установок типа УПМ-3

и УПМ-6 или используют специально оборудованные для этих целей плазменные горелки. В качестве напыляемых материалов применяют порошки различных металлов, сплавов и оксидов.

При литье под давлением шероховатость поверхностей отливок снижается при повышении качества рабочих поверхностей пресс-форм, использовании необходимых смазочных материалов, а также при рафинировании расплавов от оксидов и газов, подборе соответствующей температуры заливки расплава и вакуумировании пресс-форм.

Большое влияние на шероховатость поверхности отливок оказывает степень износа пресс-форм, которая увеличивается с увеличением числа изготовляемых отливок.

Снижение шероховатости поверхности отливок при литье в кокиль может быть достигнута благодаря снижению шероховатости рабочих поверхностей кокилей и возможности регулировать температуру заливки.

Значения шероховатости *Rz* поверхностей титановых отливок в зависимости от вида литейной формы приведены ниже:

Формы	*Rz*
Набивные графитовые	20—80
Оболочковые графитовые . . .	20—40
Прессованные графитовые . .	20—40
Графитовые по выплавляемым моделям	10—40
Металлические кокили	10—40

Следует отметить, что применение более мелких фракций графитовых порошков с целью уменьшения шероховатости поверхности отливок из титановых сплавов отрицательно сказывается на других свойствах отливок (геометрической точности, химической однородности поверхности и др.).

Специальные требования к отливкам. Кроме общих технических требований, к отливкам часто предъявляется целый ряд специальных требований, определяемых функциональным назначением и условиями работы литых деталей в машинах, оборудовании или приборах.

Некоторые из специальных требований к литым деталям для различных условий их работы:

герметичность — при повышенном давлении газа или жидкости (обычно 0,5—30 МПа) и в вакууме (ГОСТ 5197—85): низком — давление менее 100 Па, среднем — 10^{2}—10^{-1} Па, высоком — 10^{-1}—10^{-5} Па, сверхвысоком — более 10^{-5} Па;

коррозионная стойкость в различных жидких или газообразных агрессивных средах, часто при повышенных до 70—300 °С температурах;

износостойкость в узлах трения качения или скольжения с твердым или жидким смазочным материалом или без него;

термостойкость, если рабочий процесс узла проходит при повышенных температурах или в узле неизбежно повышается температура;

стабильность размеров при знакопеременных нагрузках или при повышенных температурах, вызывающих коробление деталей;

декоративность — возможность нанесения гальванических; химических, диффузионных или других видов покрытий при работе отливки в агрессивных средах, при повышенных температурах, а также для улучшения ее товарного вида.

Специальные требования к отливкам оговариваются в технических условиях или непосредственно в чертеже литой детали. Эти требования обеспечиваются прежде всего выбором литейного сплава, в максимальной степени отвечающего функциональному назначению отливки, рациональностью технологических процессов изготовления, механической и термической обработкой отливки, а также специальной отделкой поверхности литых деталей для нанесения различных декоративных, защитных, теплостойких и других видов покрытий.

В процессе изготовления литой детали или после его завершения предусматривается проведение различных испытаний, гарантирующих соблюдение заданных чертежом или техническими условиями специальных технических требований.

2. Технологичность конструкций литых деталей

Общие требования технологичности при проектировании литых деталей. Технологичность конструкции заготовки — совокупность свойств, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при изготовлении заготовки, а также в обеспечении технологичности изготовляемой из нее детали.

Таким образом, технологичной можно считать такую конструкцию литой детали, которая в максимальной степени отвечает требованиям как литейной технологии, так и технологии механической обработки. От технологичности конструкции литых деталей зависят качество отливок и издержки производства при их изготовлении. Для создания технологичной конструкции литой детали конструктору и технологу-литейщику необходимо учитывать много факторов, влияющих на технологичность. К таким факторам относятся:

факторы технологичности применяемого сплава—физико-химические, литейные, технологические (свариваемость, обрабатываемость резанием) и специальные свойства;

факторы, характеризующие выбранный метод литья, — точность размеров, шероховатость поверхности, припуск на обработку резанием, гарантированные показатели плотности, структуры и механических свойств отливок, ограничение массы, размеров и сложности конфигурации отливки, наличие специфических дефектов и допустимость их исправления заваркой и другими методами, возможности завода-изготовителя;

факторы технологичности обработки резанием — геометрическая форма отливки, расположение отверстий, приливов, баз для механической обработки, возможность предварительной обработки перед заваркой дефектов, возможность стабилизирующей термической обработки, наличие термической и химико-термической операций, применяемые защитные покрытия, специальные методы испытаний и контроль размеров в процессе обработки детали.

Учет указанных факторов на стадии проектирования литой детали позволяет максимально приблизить отливку по размерам и конфигурации к окончательно обработанной детали и обеспечить наименьшие затраты на ее изготовление в литейном и механическом цехах.

Для оценки технологичности созданной конструкции используют показатели технологичности, главными из которых являются удельная материалоемкость, коэффициент использования металла (КИМ), коэффициент необработанной поверхности (КНП), точность геометрических форм (оценивается по степени соответствия размеров отливки размерам, заданным в чертеже, и припуску на обработку резанием), удельная трудоемкость и обрабатываемость резанием.

Показателем КИМ называют отношение массы готовой детали к массе заготовки, характеризующее количество металла, которое необходимо удалить при обработке отливки резанием; показателем КНП — отношение необработанной резанием поверхности ко всей поверхности детали, характеризующее геометрическую точность изготовления детали и качество ее поверхности. По значениям этих показателей можно судить о трудоемкости изготовления, а по значениям КИМ — еще и дополнительно о стоимости материала, идущего на изготовление детали.

Одной из главных оценок технологичности конструкции является ее экономичность, определяемая трудоемкостью ее изготовления и себестоимостью. Технологичные отливки получают с минимальными затратами (включая затраты литейного и механического цехов) на всех этапах производства и с минимальными потерями от брака.

При проектировании литой детали необходимо максимально уменьшить ее массу. На массу отливки влияет ряд конструкторских и технологических факторов. К конструкторским факторам относятся: использование унифицированных деталей и узлов, применение сплавов с повышенными меха-

ническими свойствами; к технологическим факторам — улучшение технологичности конструкции литой детали, повышение точности изготовления отливок и понижение шероховатости их поверхности, снижение припусков на механическую обработку, уменьшение толщин стенок отливок улучшением заполняемости форм и применением более прочных сплавов.

Литейно-технологические требования к конструкции литых деталей и их элементам. В технологичных литых деталях предусматривают:

простые, прямолинейные общие контуры, облегчающие изготовление как литейной оснастки, так и самих отливок;

рациональную толщину стенок в различных сечениях, обеспечивающую хорошую заполняемость формы металлом без образования дефектов металлургического происхождения;

рациональные формы различных переходов, сопряжений, ребер жесткости и других конструктивных элементов, способствующих снижению внутренних напряжений и устранению дефектов усадочного характера;

достаточное число отверстий для удобства оформления стержнями внутренних полостей отливок, выполнения обрубных и зачистных операций и транспортирования;

конструктивные уклоны поверхностей, обеспечивающие изготовление литейных форм без усложняющих приемов и искажения контуров отливки формовочными уклонами, вызывающих увеличение ее массы.

Литые детали не должны иметь выступающих частей, тонкостенных ребер, глубоких впадин, закрытых полостей и поднутрений, затрудняющих изготовление литейной формы и усложняющих обрубку и зачистку отливок. Выполнение этих требований способствует предотвращению дефектов, достижению заданной точности и минимальной трудоемкости изготовления отливок.

Определение толщины стенок отливок. Для полного использования механических свойств сплавов при конструировании литых деталей принимают минимальную толщину стенок, допускаемую расчетом на прочность.

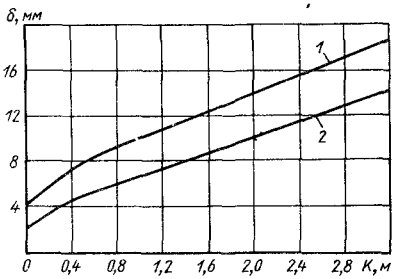


Рис. 4. *Зависимость наименьшей толщины* δ стенки отливки от ее приведенного размера *K* при литье в песчаные формы:

1 — сплавы на основе меди; *2* — алюминиевые и магниевые сплавы

При принятии толщины стенки отливки, меньшей, чем допускается расчетом, следует подобрать более прочный сплав. Если уменьшение толщины стенок до оптимальных размеров снижает жесткость детали, в ней предусматривают специальные ребра жесткости и перегородки. При этом конструктору важно знать наименьшую толщину стенки, которую можно получить литьем. Однозначное определение наименьшей толщины стенки затруднено, так как эта величина зависит от размеров всей отливки, площади поверхности тонкой стенки и некоторых других факторов. Такую толщину имеют стенки, прилегающие к более массивным частям отливки.

Плоские тонкие стенки могут быть получены в отливке лишь при определенной площади их поверхности. Если тонкая стенка имеет большую площадь, то она плохо заполняется металлом или искажается ее геометрическая форма вследствие деформаций и коробления отливок. В этом случае вместо плоской отливки целесообразно выполнять отливку с искривленной формой поверхности, предусматривать в ней отверстия, снабжать стенку сеткой поперечных и продольных ребер, улучшающих заполняемость формы.

Минимальную толщину δ стенок отливок при литье в песчаные формы выбирают по диаграммам (рис. 4) в зависимости от приведенного габаритного размера *K* отливки, определяемого по формуле:

11. Минимальная толщина (мм) стенок отливок при литье в оболочковые формы

Сплавы	Максимальный размер отливки (свыше—до), мм			
	До 100	100—200	200—350	350—500
Медные	2,5—4,0	3,0—4,0	3,5—5,0	4—6
Алюминиевые	2,5—4,0	3,0—5,0	4,0—6,0	4—7
Магниевые	2,5—4,0	3,0—4,0	3,5—5,0	4—6
Цинковые	2,0—4,0	2,5—3,5	3,0—4,0	3,5—5,0
Оловянные бронзы	1,5—2,0	2,0—3,0	2,5—3,5	3—4

$$K = \frac{2l + b + h}{3},$$

где l, b и h — соответственно длина, ширина и высота отливки, м. При $K > 3$ толщину стенок принимают не менее 20 мм.

Наиболее употребительными минимальными толщинами (мм) стенок в машиностроении и приборостроении являются: 3—5 для сплавов из алюминия и цинка и оловянных бронз; 3,5—6 для магниевых сплавов; 6—7 для остальных бронз и латуней.

Толщину внутренних стенок ввиду их более медленного охлаждения следует принимать равной 0,8—0,9 толщины наружных стенок; толщину стенок отливок из титановых и никелевых сплавов в связи с их худшей жидкотекучестью — 1,1—1,5 толщины стенок однотипных отливок из медных сплавов.

Минимальные толщины стенок отливок, получаемых при литье в оболочковые формы, кокиль, по выплавляемым моделям и под давлением, приведены соответственно в табл. 11—14. При литье по выплавляемым моделям минимальная толщина стенки в отливке может быть равной 0,6 мм, если протяженность этой стенки не превышает 5—10 мм, и 0,7—0,8 мм, если протяженность стенки не превышает 10—15 мм. Наиболее часто толщина стенок отливок при данном виде литья составляет 2—5 мм.

При литье под давлением мелких отливок из алюминиевых и цинковых сплавов более тонкие стенки, чем указаны в табл. 14, можно получить при ограниченных размерах поверхности:

Максимальные размеры поверхности отливки, мм	3×3	15×15	25×25	100×100
Минимальная толщина стенки, мм	0,15	0,50	0,70	0,90

12. Минимальная толщина (мм) стенок отливок при литье в кокиль

Сплавы	Максимальный размер отливки (свыше—до), мм			
	До 120	120—250	250—350	350—500
Алюминиевые	3	6	8	12
Магниевые	3	6	10	12
Медные	4	8	10	12
Цинковые	3	5	8	—

13. Минимальная толщина (мм) стенок отливок при литье по выплавляемым моделям

Сплавы	Максимальный размер отливки (свыше—до), мм				
	До 50	50—100	100—200	200—350	Св. 350
Алюминиевые	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Магниевые	1,8	2,2	2,5	3,0	3,5
Медные	1,8	2,5	3,0	3,5	4,0
Цинковые	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Оловянно-свинцовые	1,5	2,0	3,0	3,5	4,0

14. Минимальная толщина (мм) стенок отливок при литье под давлением

Сплавы	Площадь сплошной поверхности отливки (свыше—до), см²				
	До 25	25—100	100—225	225—400	400—1000
Цинковые	0,8	1,2	1,5	2,0	3,0
Алюминиевые	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0
Магниевые	1,3	1,8	2,5	3,0	4,0
Медные	1,5	2,5	3,0	3,5	—
Оловянные и свинцовые	1,2	1,8	2,5	3,0	—

В то же время при конструировании деталей для литья под давлением необходимо избегать толщины стенок более 3—5 мм из-за опасности образования в отливках воздушных включений и усадочных пустот.

Сопряжения, переходы, радиусы закруглений. При выполнении сопряжений различных видов необходимо избегать неравномерности толщин стенок, скопления металла в отдельных местах и резких переходов от толстых сечений к тонким. Плавный переход обеспечивает большую надежность, чем увеличение толщины стенки отливки. Если нельзя избежать сопряжений

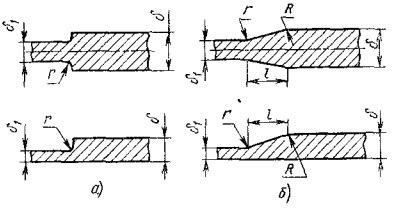


Рис. 5. Сопряжение двух стенок разной толщины:
$а$ — $\delta/\delta_1 < 2$; $б$ — $\delta/\delta_1 \geqslant 2$

массивных сечений с тонкими, то предусматривают плавные переходы между ними. Соотношение толщин стенок на сопрягаемых участках отливки не должно превышать 1 : 4. Все угловые сопряжения стенок выполняют с помощью внешних (R) и внутренних (r) радиусов закруглений.

Сопряжения стенок (рис. 5, $а$), отличающихся по толщине менее чем в 2 раза, выполняют в виде галтели радиусом $r = (\delta + \delta_1)/4$. Если же сопрягаемые стенки по толщине отличаются в 2 раза и более, то переход выполняют в виде клина с галтелями (рис. 5, $б$). В этом случае радиус закруглений $R = (\delta + \delta_1)/2$. Длина переходной части $l \geqslant 4\,(\delta - \delta_1)$. Эти соотношения используют также и для определения размеров переходной части при других видах сопряжений.

Параметры угловых (L-образных) сопряжений, показанных на рис. 6, приведены в табл. 15.

15. Сопряжения двух стенок

Параметр сопряжения	Числовое значение параметра или его расчетная формула для сопряжения, приведенного на рис. 6				
	а	*б*	*в*	*г*	*д*
$\delta : \delta_1$	1	1	1,25	1,25	1,25
Угол пересечения α, ...°	75—105	105	75—105	75—105	До 75
R, мм	$r + \delta_1$	$r + \delta_1$	$r + \delta_1$	$r + \delta_1 + h$	$r + \delta_2 = r + \delta_1 + h$
h, мм	—	—	—	$\delta - \delta_1$	$\delta - \delta_1$
l, мм	—	—	—	$4\,(\delta - \delta_1)$ и более	$4\,(\delta - \delta_1)$ и более

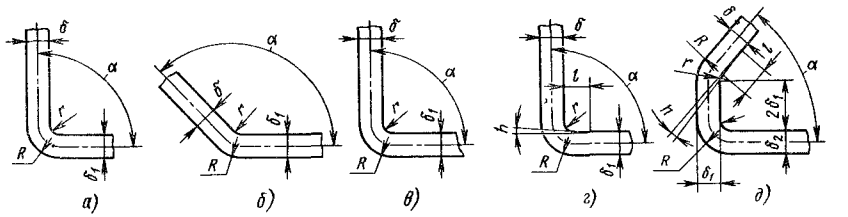


Рис. 6. Угловые (L-образные) сопряжения элементов

Наиболее важной величиной в этом сопряжении является радиус галтели r внутреннего угла, образованного двумя стенками отливки; $r = (\delta + \delta_1)/s$, где s — степень замкнутости, определяемая по графику (рис. 7).

Сопряжение (Т-образное) трех стенок оформляют по схемам, приведенным на рис. 8, при этом необходимо соблюдать соотношения параметров, приведенных в табл. 16.

Для устранения дефектов усадочного характера в местах сопряжения стенок, если это позволяют условия эксплуатации детали, выполняют специальные углубления на поверхности по радиусам: внешнему $R_1 = \delta + \delta_1$ и внутреннему $r_1 = r = (\delta + \delta_1)/s$ или $r_1 = (1/6 \div 1/3)(\delta + \delta_1)$ (см. рис. 8, *в*).

Сопряжения четырех стенок во избежание образования теплового узла необходимо рассредотачивать (рис. 9) и выполнять по схеме для трех стенок (см. рис. 8, *в*).

Внешние и внутренние радиусы закруглений выполняют из одного центра при сопряжении стенок одинаковой толщины и из разных центров, если сопряженные стенки имеют разную толщину. В общем случае внутренний радиус принимают равным $^1/_6$—$^1/_3$ суммы толщин сопрягаемых стенок; внешний радиус равен их сумме.

При сопряжении двух и трех стенок отливок, получаемых в песчаных формах, радиус r определяют по графикам, приведенным на рис. 10. При литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям при одинаковой и малой толщине стенок радиусы и галтели выполняют равными половине толщины стенки, но не более 1—2 мм, а при значительной или различной толщине стенок — в пределах 3—5 мм. При литье в кокиль радиусы закруглений принимают равными половине толщины стенок отливки, но не менее 3—5 мм.

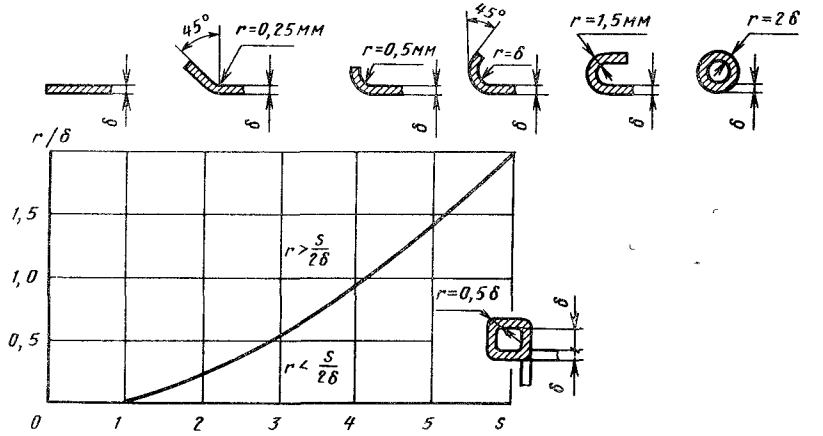


Рис. 7. График для определения степени замкнутости

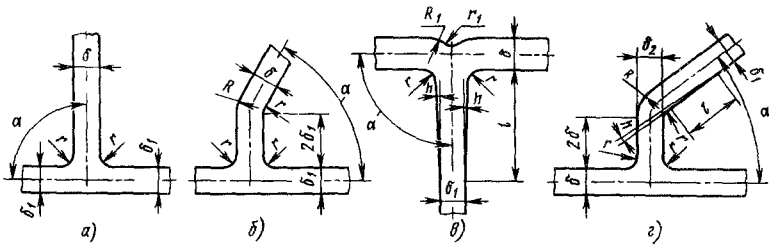


Рис. 8. Т-образные сопряжения элементов

16. Сопряжения трех стенок

Параметр сопряжения	Числовое значение параметра или формула для его расчета для сопряжения, приведенного на рис. 8			
	а	*б*	*в*	*г*
$\delta : \delta_1$	1,25	1,25	1,25	1,25
Угол пересечения α, ...°	75—105	До 75	75—105	До 75
R, мм	—	$r + \delta$	—	$r + \delta_2 = r + \delta_1 + h$
h, мм	—	—	$(\delta - \delta_1)/2$	$(\delta_2 - \delta_1)/2$
r, мм		(1/6÷1/3)	$(\delta + \delta_1)$	
R_1, мм	—	—	$\delta + \delta_1$	—

Для деталей, отливаемых под давлением, минимальный радиус закруглений берут равным $^1/_3$ толщины стенки, а при разных толщинах стенок — $^1/_3$ суммы их толщин. При этом радиус закруглений не должен быть менее 1 (для отливок из алюминиевых и цинковых) или 1,5 мм (для отливок из медных и магниевых сплавов).

Рассчитанный или выбранный по графикам радиус закругления округляют до значения из предпочтительных рядов чисел, рекомендованных ГОСТ 10948– 64: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 16, 20, 25, 32, 40 В одной отливке должно быть минимальное число значений радиусов; лучший вариант — одно значение радиуса. В этом случае на чертеже отливки делают запись: «Литейные радиусы внешних (внутренних) углов R = ...».

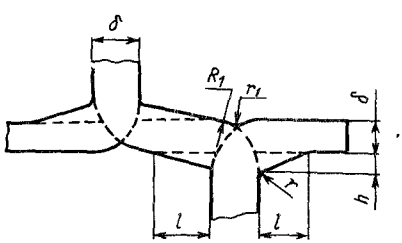


Рис. 9. Сопряжение четырех стенок под различными углами

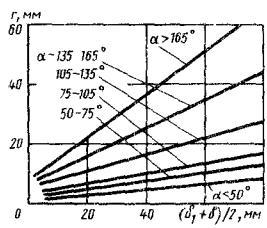


Рис. 10. График определения радиуса галтели r сопряженных элементов литых деталей в зависимости от средней толщины стенки $(\delta + \delta_1)/2$ и угла сопряжения α

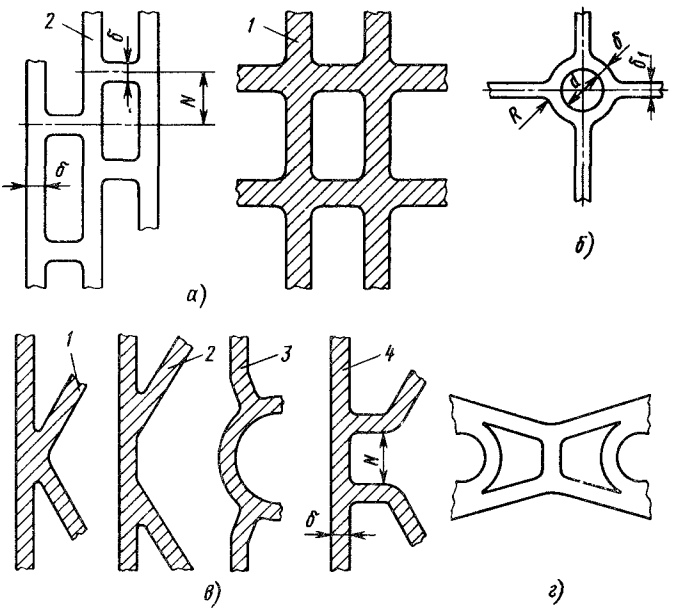


Рис. 11. Пересечения ребер и перегородок:
а — шахматные ($N \geqslant 2\delta$); *б* — кольцевое ($d = 4\delta$); *в* — К-образные ($N \geqslant 2\delta$); *г* — Н-образное; *1* — нетехнологичное пересечение; *2—4* — технологичные пересечения

Выполнение пересечений ребер жесткости и стенок отливок. Вводимые для усиления конструкции литой детали ребра жесткости создают местные скопления металла, вызывающие образование усадочных раковин и трещин. Поэтому при конструировании деталей необходимо стремиться к максимальной разгрузке узлов скопления металла. С этой целью рекомендуется Х-образные пересечения заменять Т-образными, соединять ребра со стенками отливок под прямым углом, применять рациональные формы шахматного, кольцевого, К- и Н-образных пересечений, показанных на рис. 11. В случае пересечения в одной точке нескольких ребер рекомендуется делать кольцевое ребро (см. рис. 11, *б*) и уже к нему присоединять радиальные ребра на достаточном расстоянии друг от друга.

Встречающиеся в большом числе конструкций деталей машин и приборов крестовины с ребрами целесообразнее всего выполнять с соотношениями размеров, приведенными на рис. 12 и в табл 17. Толщина ребра наружной поверхности литой детали должна быть не более 0,8 толщины стенки, к которой она примыкает; толщина ребра внутреннего контура —не более 0,6—0,7 толщины стенки. Высота ребра не должна превышать пятикратной толщины стенки. Расстояние между ребрами принимают равным не менее 1,2 высоты ребра.

Разгрузка узлов скопления металла; выполнение пазов, полостей, отверстий. Конструкция деталей должна быть такой, чтобы избежать образования в отливках усадочных раковин и пористости. Этих дефектов не будет при направленном затвердевании металла. Это условие будет выполнено, если при конструировании отливки соблюдается правило вписанных окружностей. Правило вписанных окружностей поясняется схемой, приведенной на рис. 13.

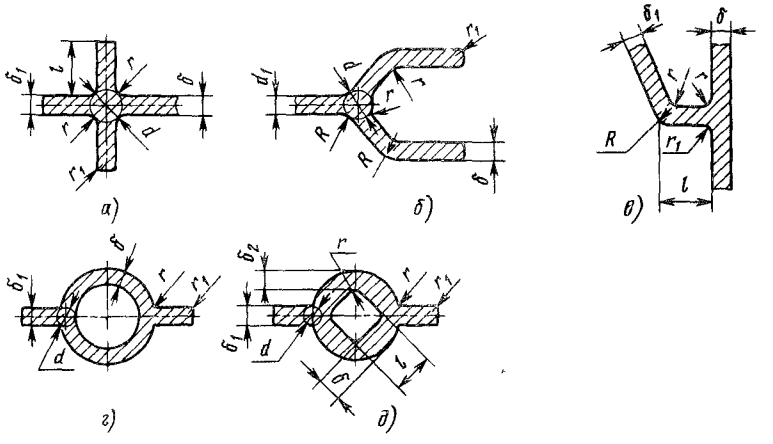


Рис. 12. Сопряжения стенок отливок

Недостаток конструкции детали, созданной без учета направленного затвердевания металла, можно устранить введением технологических напусков (рис. 14, *а*), но это приводит к снижению КИМ и увеличению трудоемкости обработки резанием. Поэтому рациональнее изменить конструкцию детали (рис. 14, *б*).

Направленному затвердеванию способствуют и другие способы разгрузки узлов скопления металла: выравнивание толщин стенок (рис. 15), выполнение в отливках дополнительных полостей (рис. 16), пазов (рис. 17), отверстий, гребенчатых переходов с литыми отверстиями (рис. 18) и т. п.

В отливках, получаемых литьем под давлением, выполняют *полости* двух видов (рис. 19, *а*). Для получения полостей *I* необходимы стержни и вкладыши, которые извлекают в направлении, перпендикулярном к плоскости разъема пресс-формы. Для получения полостей *II* необходимы стержни, направление извлечения которых

17. Соотношение размеров (в долях размера δ) при различных видах сопряжений стенок отливок

Сопряжение	Эскиз узла отливки на рис. 12	l	δ_1	δ_2	R	r	r_1	d
Крестообразное	*а*	3,0	0,6	—	—	0,3	0,25	1,25
Вилкообразное:								
симметричное	*б*	—	0,8	—	1,5	0,5	0,25	1,25
несимметричное	*в*	2 и более	0,8	—	2,0	0,3	1,0	1,25
Кольцевое:								
с ребрами	*г*	—	0,8	—	—	0,5	0,25	1,25
с квадратным отверстием	*д*	3 и более	1,0	0,5	—	0,25	0,25	1,25

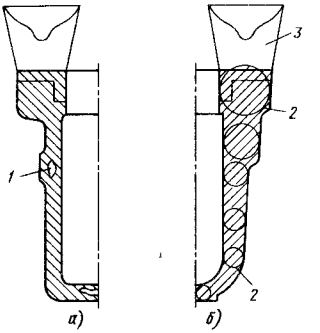


Рис. 13. Деталь, сконструированная без учета правила вписанных окружностей (*а*) и с учетом этого правила (*б*): *1* — усадочные раковины; *2* — контрольные окружности; *3* — прибыль

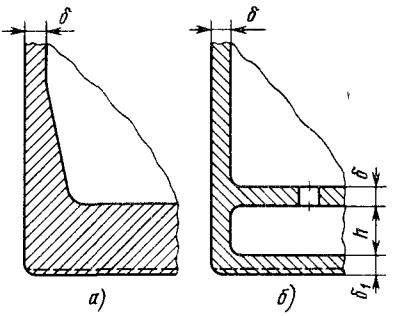


Рис. 16. Конструкция литой детали с неравномерными по толщине стенками (*а*) и со стенками, выравненными по толщине за счет образования полости (*б*);
$\delta = 0{,}8\delta_1$; $h \geqslant 3(\delta + \delta_1)/2$

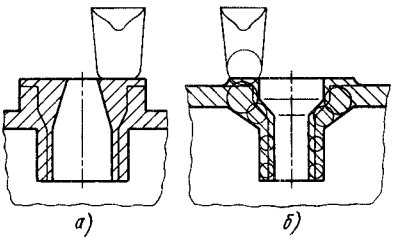


Рис. 14. Нерациональная конструкция литой детали (*а*), требующая больших припусков на обработку резанием, и рациональная конструкция (*б*), обеспечивающая направленное затвердевание металла

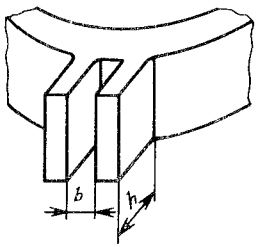


Рис. 17. Выполнение в отливке паза; $h \leqslant 2b$ при $b \geqslant 1$ мм

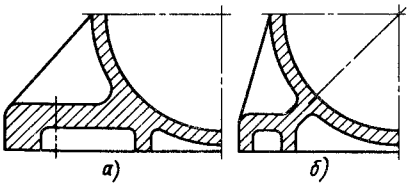


Рис. 15. Конструкции литой детали: *а* — с местным скоплением металла; *б* — без скопления металла, устраненного выравниванием толщин стенок

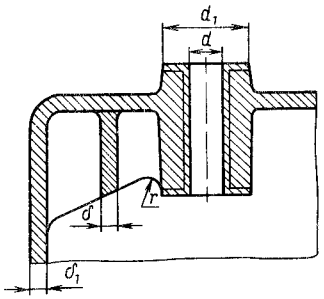


Рис. 18. Конструкция гребенчатого перехода с литым отверстием;
$\delta = 0{,}8\delta_1$; $d \geqslant d_1/2$; $r \geqslant 8$ мм

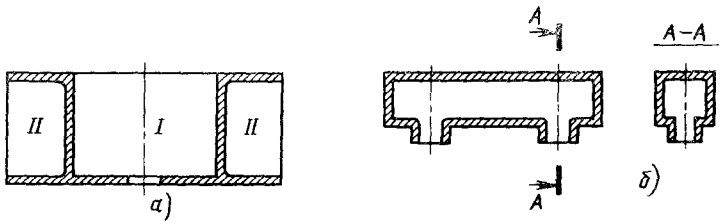


Рис. 19. Сложные полости в отливках, получаемых литьем под давлением

не совпадает с направлением движения подвижной части пресс-формы. Полости *I* более технологичны, чем полости *II*, так как их выполнение более сложно.

Особый случай представляют собой полости с малыми выходными отверстиями (рис. 19, *б*). Для получения этих полостей используют стержни специальной конструкции (чаще всего выплавляемые) или армируют отливку. Однако даже в этом случае трудоемкость изготовления таких полостей литьем ниже, чем их получение обработкой резанием.

Отверстия. Размеры получаемых в отливке отверстий главным образом определяются видом литья, применяемым литейным сплавом и типом отверстий (глухое или сквозное). Глухое отверстие получить в отливке всегда труднее, чем сквозное. Диаметр литого отверстия и его глубина находятся между собой в прямой зависимости (чем меньше глубина отверстия, тем меньшего диаметра можно получить отверстие литьем);

$d \geqslant (1{,}8 \div 2)\,h$, где h — глубина отверстия. Отверстия диаметром $d < 5$ мм можно получать в отливках только в тонких стенках с помощью керамических стержней. Минимальные отверстия диаметром 0,5 мм допускаются в стенках деталей толщиной до 1 мм.

Минимальные размеры литых отверстий в отливках, получаемых литьем в кокиль, приведены в табл. 18.

При выборе размеров отверстий в отливках, получаемых литьем под давлением, в общем случае руководствуются данными табл. 19; минимальные размеры отверстий принимают по табл. 20.

Выполнение литых резьб, зубьев и надписей на отливках. *Литая резьба* может быть выполнена главным образом в отливках, получаемых литьем по выплавляемым моделям и под давлением. При литье по выплавляемым моделям осуществляют литье только специальных резьб с крупным шагом, так как в углублениях резьбы часто появляются дефекты — металлические приливы.

При литье под давлением можно по-

Глубина отверстия (свыше—до), мм	До 10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—75	75—100
Диаметр отверстия, мм	8	10	12	14	16	18	20	20

Получение при литье малых отверстий в большой массе металла затруднено в отличие от получения больших, простых по форме отверстий, наличие которых в отливке, как правило, улучшает ее качество. В ряде случаев для выполнения большого числа мелких отверстий целесообразно армировать отливку.

При литье по выплавляемым моделям диаметр получаемого отверстия

лучить наружные и внутренние резьбы. Экономически целесообразно изготовлять детали с наружной резьбой. Размеры литых резьб для отливок, изготовляемых литьем под давлением, приведены в табл. 21. В отливках литая резьба прочнее, чем нарезная, так как при нарезке удаляется наиболее плотный поверхностный слой, глубина которого 0,5—1,0 мм.

При выполнении внутренней резьбы

18. Размеры (мм) литых отверстий в кокильных отливках

Сплавы	Минимальные диаметры отверстий в отливках			Максимальное отношение глубины отверстия к диаметру		Угол конуса стержня, ...°
	мелких	средних	крупных	глухого	сквозного	
Алюминиевые	8	10	12	2	2—3	1,5—2,5
Медные	10	12	14	1,5—2,0	2—3	1,5—3,5
Цинковые	6	7	8	2—3	2—4	1,5—2
Магниевые	8	10	12	2	2—3	2—3

глубина резьбового канала, как правило, должна быть равна двум диаметрам отверстия, причем наружный диаметр бобышки с резьбовым отверстием должен превышать диаметр резьбы не менее чем в 2 раза (рис. 20).

Наружные резьбы малого диаметра (до 10 мм) лучше всего выполнять, заливая в отливку болты из стали, которые должны быть зафиксированы в отливке таким образом, чтобы исключалось их проворачивание при навинчивании гайки (рис. 21).

Литые зубья цилиндрических и конических колес можно выполнить в отливках из большинства цветных сплавов. Чаще всего зубья получают при литье в песчаные формы и кокиль медных сплавов, а также при литье под давлением медных и цинковых сплавов. При конструировании литых зубьев на крупных отливках, получаемых в песчаных формах и кокилях, необходимо назначать допуски и припуски на обработку, предусмотренные для деталей этого класса.

Минимальные размеры (мм) зубчатых колес при литье под давлением: диаметр 12—15, ширина 1,5—2,0, модуль 0,5 и более. Литые зубья не имеют уклонов и, как правило, их не подвергают обработке резанием, уда-

19. Зависимость глубины отверстий * h от их диаметра d

d, мм	h	d, мм	h
Глухие отверстия		*Сквозные отверстия*	
Св. 3	$3d$	Св. 3	$4d$
До 3	$2d$	До 3	$3d$

* Отверстия выполняются в отливках, получаемых литьем под давлением.

Примечание. Угол конуса стенок отверстия должен быть не менее 1°

20. Минимальные размеры отверстий и их конусность при литье под давлением

Сплавы	Диаметр	Глубина	Конусность (% от глубины) отверстия	
	мм		сквозного	глухого
Цинковые	1	6/12	0,2	0,3
Магниевые	1,5	4,5/12	0,3	0,5
Алюминиевые	1,5	4,5/6	0,5	1,0
Медные	2,5	7,5/10	0,8	1,5

Примечание. В числителе — глубина глухого отверстия, в знаменателе — сквозного.

21. Минимальные диаметры и шаг (мм) резьбы при литье под давлением

Сплавы	Диаметр резьбы		Шаг резьбы	
	наружной	внутренней	наружной	внутренней
Цинковые	4	10	0,75	1,0
Алюминиевые	6	20	1,0	2,0
Магниевые	6	20	1,0	2,0
Медные	8	25	1,5	2,5

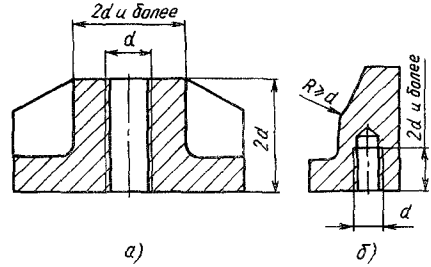


Рис. 20. Литая внутренняя резьба:
а — в бобышке с ребрами жесткости (отливку получают литьем под давлением); *б* — в глухом отверстии, выполненном с помощью составного резьбового стержня (отливку получают литьем в кокиль)

ляя лишь облой, так как мелкозернистая структура поверхностного слоя и окисная пленка на поверхности повышают износостойкость зубьев.

Надписи на отливках. Товарные знаки, цифры, буквы и другие надписи можно получать на внутренних и наружных поверхностях отливок в процессе литья (особенно в кокиль и под давлением) по трем вариантам. Вариант, приведенный на рис. 22, *а*, наиболее экономичен, а сами надписи на форме долговечны, так как надежно защищены от механического повреждения. Однако при выполнении таких надписей нельзя допускать поднутрений, их получают, выполняя в форме соответствующие углубления. Если на поверхности отливок выпуклые надписи не допускаются, их располагают в углублениях (рис. 22, *б*). Вариант на рис. 22, *в* является самым трудоемким в исполнении. Выступающие надписи на поверхности формы легко повреждаются при механическом воздействии, а при получении их литьем под давлением быстро изнашиваются из-за периодического контактирования с потоком расплава.

Армирование отливок, т. е. их соединение с помощью заливки другой детали — арматуры, позволяет устранить местное скопление металла, значительно улучшить технологичность деталей, получить отливки с местным увеличением прочности, плотности, герметичности, износостойкости, теплопроводности, электропроводности, выполнить в деталях протяженные криволинейные малых сечений литые каналы, глубокие резьбы и мелкие отверстия, а также осуществить сборку деталей в узлы литьем и решить ряд других конструктивных задач.

Арматуру и отливки можно соединять сжимающими напряжениями, возникающими в отливке при ее усадке, а также с помощью диффузионных процессов на границе арматура—отливка.

Для изготовления арматуры используют: медные сплавы для алюминие-

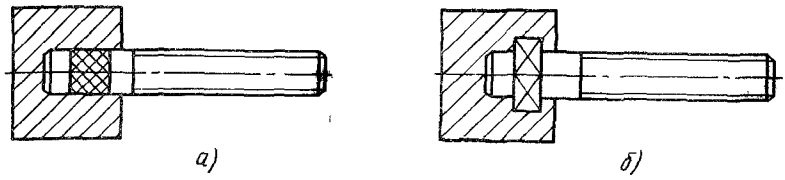


Рис. 21. Резьбовые вставки для выполнения в отливках наружной резьбы:
а — с накаткой (ненадежное стопорение от проворачивания); *б* — с четырех- или шестигранным хвостовиком (проворачивание исключено)

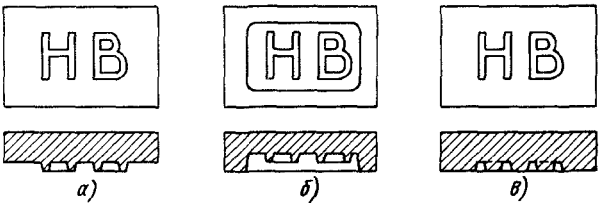


Рис. 22. Выполнение в отливках буквенных обозначений шрифтом:
а — выпуклым, выступающим; *б* — выпуклым в углублении; *в* — заглубленным

вых, магниевых и цинковых отливок; чугун и сталь для всех цветных сплавов. Методы разделки арматуры для лучшего соединения с отливкой приведены на рис. 23.

Конструкция арматуры и ее крепление в литейной форме должны исключить возможность ее смещения под действием струи расплава при заливке формы.

Конструирование окантовок (буртиков), перемычек, выступов, бобышек и канавок для выхода инструмента. При устройстве окон и отверстий, особенно при малых размерах перемычек, возникает опасность появления в отливках трещин. Для усиления окон и отверстий по их краям необходимо выполнять окантовки, специальные выступы и бобышки. Размеры односторонних и двусторонних окантовок, рекомендуемые преимущественно при литье в песчаные формы, приведены на рис. 24 и в табл. 22; а ширина перемычек между окнами

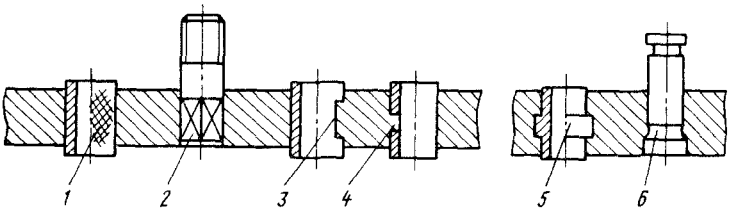


Рис. 23. Способы крепления заливаемой арматуры в стенке отливки:
1 — с помощью накатки; *2* — четырехгранником; *3* — лыской; *4* — с использованием отверстия; *5* — буртом; *6* — с использованием канавки

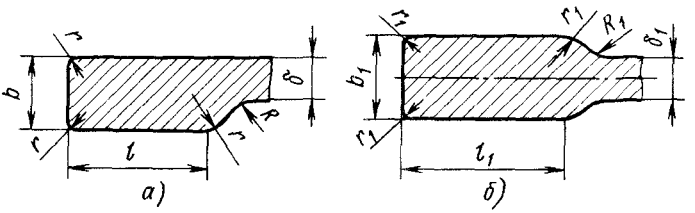


Рис. 24. Односторонние (*а*) и двусторонние (*б*) окантовки окон (отверстий) отливок

22. Размеры (мм) одно- и двусторонних окантовок

Толщина δ (δ_1) стенки детали, мм	Окантовки							
	односторонние			двусторонние				
	b	l	R	r	b_1	l_1	R_1	r_1
4	7	10	5	1	8	10	3	2
5	8	10	5	1	10	12	3	2
6	10	10	6	2	12	14	3	2
7	12	12	8	3	14	16	5	3
8	14	12	8	3	16	18	6	3
10	16	15	10	3	18	20	6	3
12	20	18	12	5	22	25	8	5
14	22	20	15	5	25	28	8	5
16	26	22	16	6	28	30	8	5
18	28	25	16	6	30	32	8	6
20	30	28	20	8	32	32	8	6
22	32	30	20	8	35	35	10	8
25	35	32	20	10	38	35	10	8

зависит от наибольшего габаритного размера отливки:

Наибольший габаритный размер отливки (свыше—до), мм	До 125	125—250	250—500	500—750
Минимальная ширина перемычек, мм	30	35	40	60

Наибольший габаритный размер отливки (свыше—до), мм	750—1000	1000—1500	1500—2000
Минимальная ширина перемычек, мм	75	90	100

При литье в кокиль, под давлением и по выплавляемым моделям соотношение размеров буртиков и толщин стенок отливки можно принимать по рис. 25. Для указанных видов литья высота выступа или бобышки $h = (4 \div 6)\, d$ или $h \geqslant 2{,}5\delta$ (рис. 26, *а* и *б*).

Толщину стенки выступа назначают в зависимости от толщины стенки отливки: $\delta_1 = (1 \div 1{,}5)\,\delta$. Если отверстие базовое и обрабатывается резанием, то диаметр выступа принимают минимальным. Если отверстие не базовое, то диаметр выступа назначают с учетом допуска на размер от базы до центра выступа. Если отверстие располагается на торце стенки, то форму выступа конструируют так, как показано на рис. 26, *в* и *г*. Выступы необходимо располагать на внешних поверхностях отливок, чтобы не усложнять конструкцию пресс-формы (рис. 26, *д*).

При конструировании платиков или бобышек на дне отливок мелкие платики объединяют в один платик (рис. 27). На вертикальных стенках

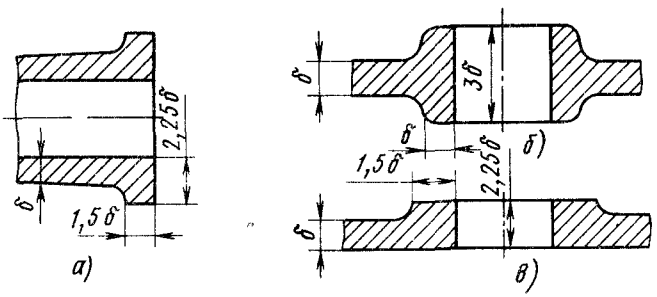


Рис. 25. Соотношение размеров буртиков и отверстий отливок, расположенных: *а* — на торце цилиндра; *б* и *в* — на плоской стенке соответственно с двух сторон и с одной стороны

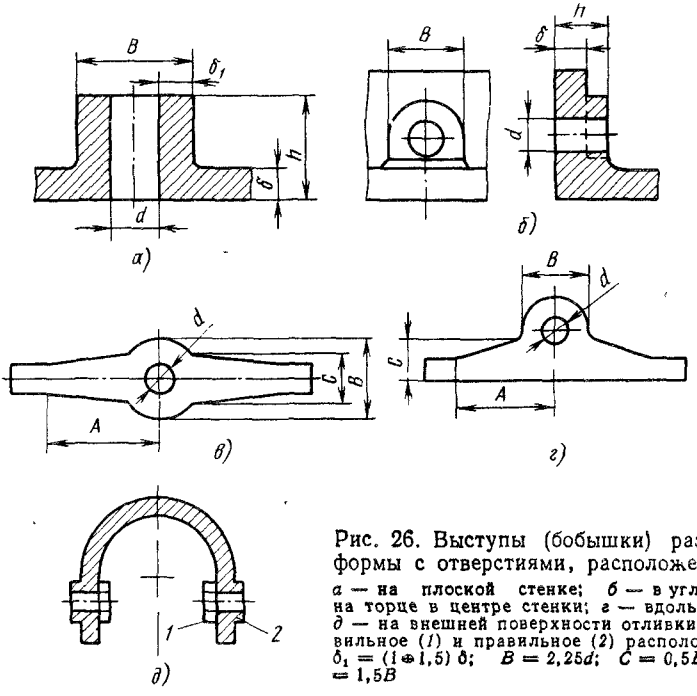


Рис. 26. Выступы (бобышки) различной формы с отверстиями, расположенные:
а — на плоской стенке; *б* — в углу; *в* — на торце в центре стенки; *г* — вдоль стенки; *д* — на внешней поверхности отливки [неправильное (*1*) и правильное (*2*) расположения]; $\delta_1 = (1 \div 1{,}5)\,\delta$; $B = 2{,}25d$; $C = 0{,}5B$; $A = 1{,}5B$

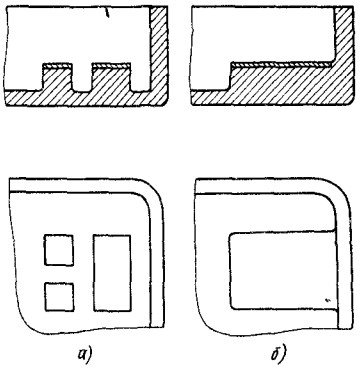


Рис. 27. Платики на дне отливки:
а — нетехнологичные; *б* — технологичные групповые

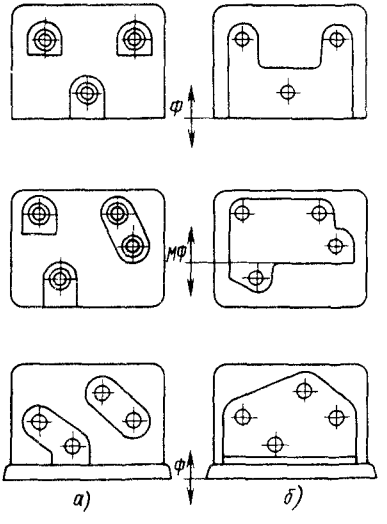


Рис. 28. Платики на вертикальных стенках отливок:
а — нетехнологичные, *б* — технологичные

отливок мелкие платики не только необходимо объединить, но и доводить их при литье в песчаные формы до линии разъема формы (рис. 28). На сопрягаемых деталях также рекомендуется выполнять не отдельные платики в местах расположения отверстий (рис. 29, *а*), а групповые по всей плоской поверхности сопряжения деталей (рис. 29, *б* и *в*).

Форма отверстий в отливках оказывает влияние на технологичность, концентрацию напряжений и, следовательно, прочность отливки. На рис. 30 и 31 приведены варианты выполнения отверстий в стенках отливок, обеспечивающие наименьшую потерю прочности и снижение концентрации напряжений в отливках.

Если принять прочность стенки без отверстий за 100 %, то прочность стенок с отверстиями будет зависеть от оформления отверстия:

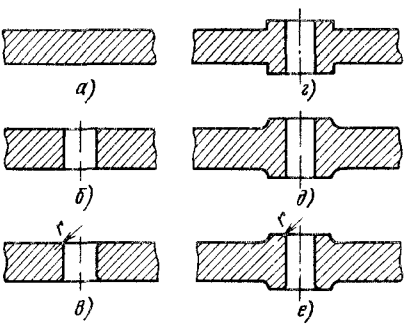


Рис. 30. Оформление отверстий в стенках отливки из алюминиевого сплава:

а — стенка без отверстия; *б* — отверстие с острыми кромками; *в* — отверстие со скругленными кромками; *г*, *д* — отверстия в бобышках соответственно без радиуса и с радиусом; *е* — то же, что и *д*, но острые кромки отверстия дополнительно скруглены радиусом *r*

Отверстие на рис. 30	*а*	*б*	*в*	*г*	*д*	*е*
Прочность стенки, % от прочности стенки без отверстия	100	60	74	49	80	89

Литые канавки для выхода инструмента часто положительно влияют на распределение напряжений. Их трудно получить механической обработкой обычным режущим инструментом. Для некоторых деталей выполнение канавок обязательно. Поверхность канавок легче зачищается шлифованием вручную, чем прямые внутренние углы (см. рис. 26, *б*). При выполнении канавок рекомендуется принимать $b > h \geqslant 3$ мм (рис. 32).

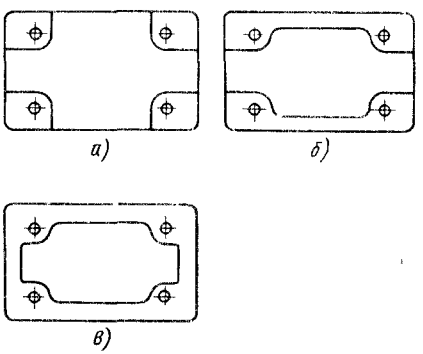


Рис. 29. Платики на сопрягаемых плоских поверхностях отливки:

а — нетехнологичные; *б* и *в* — технологичные

Выполнение уклонов или конусности на отливках. Поверхности отливок, перпендикулярные плоскости разъема литейной формы, должны иметь уклоны (конусность) для лучшего съема полуформ. Желательно предусмотреть в детали конструктивные уклоны, которые позволяют выдержать на всем протяжении отливки равномерную толщину стенок и не увеличивать массу отли-

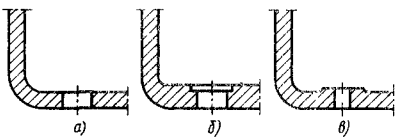


Рис. 31. Варианты выполнения отверстий, приводящие к снижению концентрации напряжений в стенках отливок:

а — нежелательный вариант — у отверстия острые кромки; *б* — допустимый вариант, но получение трудоемко; *в* — наиболее технологичный вариант

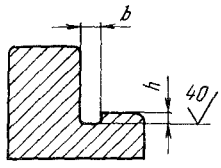


Рис. 32. Канавки на отливках для выхода режущего инструмента

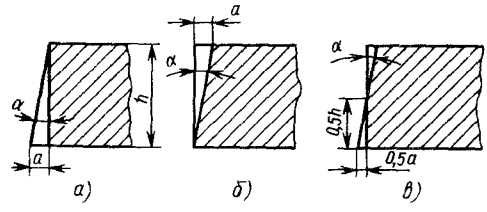


Рис. 33. Уклоны (конусность) на отливках

вок. Если же по техническим требованиям к деталям этого сделать нельзя, то в необходимых местах конструктор назначает формовочные уклоны в соответствии с ГОСТ 3212—80.

Литейные уклоны могут быть выполнены следующими способами: увеличением толщины стенки (рис. 33, *а*), уменьшением ее толщины (рис. 33, *б*) или одновременным уменьшением и увеличением толщины (рис. 33, *в*). Уклоны задаются в градусах или миллиметрах. Если вертикальные стенки обрабатывают, то уклоны всегда дают в «плюс». Также «в плюс» дают уклоны, если стенку отливки не обрабатывают, но толщина ее меньше 3 мм. При толщине стенки 3—6 мм уклоны, как правило, дают «в плюс — минус», а при толщине больше 6 мм — «в минус».

Рекомендуемые уклоны для отливок, получаемых литьем в кокиль, приведены в табл. 23.

Литейные уклоны наружных поверхностей отливок, получаемых литьем под давлением, как правило, составляют 10—30′, литейные уклоны внутренних поверхностей (полостей) — 30′—2°.

Назначение технологических баз и допусков на размеры. Желательно, чтобы базы литой детали, используемые при изготовлении отливки и ее обработке резанием, совпадали. Базы должны образовываться минимальным числом элементов литейной формы, желательно — одним элементом.

Каждой из трех пространственных осей координат должна соответствовать только одна главная база, а ее размеры должны быть возможно наименьшими, следовательно, и допуск на базовый размер будет наименьшим.

Если невозможно иметь общую базу для получения отливки и ее обработки резанием, то расстояние между принятыми базами принимают максимальным. В этом случае допуск на базовый размер будет наименьшим. Желательно, чтобы такие базы были сторонами одной стенки, а еще лучше — находились в одной плоскости. Базу необходимо располагать в центре литой детали. Тогда размеры от базы до самой удаленной поверхности детали, а следовательно, и допуски на эти размеры будут наименьшими.

Если допуски на размеры какой-либо части литой детали по конструктивным

23. Рекомендуемые уклоны при литье в кокиль

Сплавы	Уклон (% от высоты стенки отливки) для поверхности		
	наружной	внутренней, оформляемой металлическими стержнями, при высоте отливки, мм	
		до 50	св. 50
Алюминиевые	1—1,5	5	2—2,5 *
Магниевые	2,5	3	2—3 *
Медные	1,5	7	3—3,5 *
Цинковые	1,0	3	2,0

* Для тонкостенных отливок.

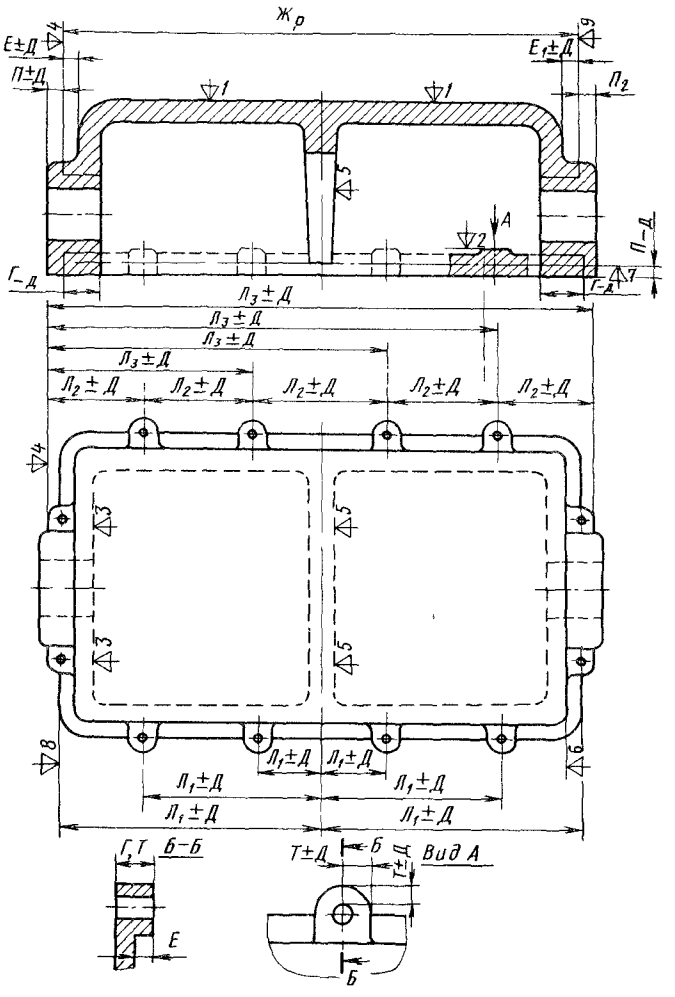


Рис. 34. Чертеж литой детали:
$Ж_р$ — размер с допуском на обработку резанием

или технологическим соображениям должны быть минимальными, то базу следует поместить в этой части детали. При отсутствии в детали плоской поверхности, удовлетворяющей приведенным условиям для выбора базы, рекомендуется делать специальные технологические приливы и их поверхности принимать за базы.

Размеры между поверхностями отливки, не обработанной и обработанной резанием, проставляют, как правило, только в тех случаях, когда обе поверхности являются базами; размеры до литой небазовой поверхности следует проставлять только от литой базы. При простановке размеров цепочкой замыкающий размер (толщина

выступа, фланца, стенки) может иметь значительные колебания, вызывающие брак деталей или необходимость дополнительного припуска. Размеры на чертеже литой детали должны правильно предопределять базы и соответствовать технологическим процессам литья и обработки резанием.

Оформление чертежа литой детали. На рис. 34 приведен чертеж литой детали, у которой литейные базы находятся на минимальных расстояниях от баз для механической обработки резанием (базы *2* и *3*). Все основные размеры, подлежащие проверке в отливке, проставляют от одной базы *4*, являющейся базой для обработки резанием и для контроля отливки (размеры $Л_3$). Проставлять эти размеры цепочкой (как $Л_2$) не допускается. Для уменьшения допусков на размеры *Е*, *Г*, *Т* и для стенок, обрабатываемых с одной стороны, необходимо применять базу *5*. Размеры, подлежащие проверке, проставляют как размеры *Л*. Припуск на обработку резанием определяют расчетным путем. Значение припуска равно сумме двух величин: минимально-допустимого припуска *П* и допуска *Д* на размер отливки от базы обработки резанием до обрабатываемой поверхности. Минимальный припуск *П* на механическую обработку, необходимый при расчете числа переходов, режимов резания и других параметров, устанавливает технолог-механик.

Припуск, который необходимо выполнить на модели, состоит из минимального припуска с добавлением к нему минусовой части допуска на размер от базы обработки резанием до обрабатываемой поверхности. Кроме того, нужно учитывать формовочные уклоны.

3. Примеры создания технологичных конструкций литых деталей и их элементов

Одна из главных задач совместной работы конструктора и технолога — максимально приблизить форму и размеры отливки к готовой детали. Идеальной считают такую заготовку-деталь, размеры которой окончательны и не требуют последующей обработки резанием. Однако эти требования на практике реализуются для ограниченной номенклатуры деталей. В связи с этим задача сводится к повышению геометрической точности отливок, что обеспечит снижение их массы, уменьшение объема работ по обработке резанием и повышение КИМ.

Совместная работа конструктора и технолога по совершенствованию технологичности конструкции приносит наибольший эффект, если с самого начала литая деталь проектируется для конкретного способа литья. При этом появляются широкие возможности максимально учесть особенности этого способа и использовать преимущества литейного сплава, той или иной литейной технологии и создать такую конструкцию, которая в полной мере отвечает ее служебному назначению и в то же время имеет минимальные металлоемкость и трудоемкость изготовления.

Далее приводятся примеры технологичных и нетехнологичных конструкций отливок и их элементов (отливки изготовляют различными способами литья).

Незначительными изменениями конструкции можно существенно упростить процесс изготовления отливок и повысить их жесткость. Так, изменения конструкции позволяют изготовлять отливку без стержня (рис. 35, *а* и *б*), упрощают конфигурацию стержня (рис. 35, *в*) и благодаря увеличению размеров отверстий *А* и *В* позволяют закреплять стержень в форме без помощи жеребеек, что повышает качество отливки и снижает трудоемкость ее изготовления. Соединение между собой двух полостей *А* и *В* (рис. 35, *г*) с образованием одной плоскости *С* существенно упрощает изготовление такой отливки литьем в песчаные формы и по выплавляемым моделям, так как в этом случае отверстие *D* можно использовать как опорное для стержня или оболочки. При изменении конфигурации рычага (рис. 35, *д*) можно выполнить разъем формы в одной плоскости, что упрощает ее изготовление. Выполнение изогнутых ребер на решетке (рис. 35, *е*) снижает внутренние напряжения в отливке, повышает

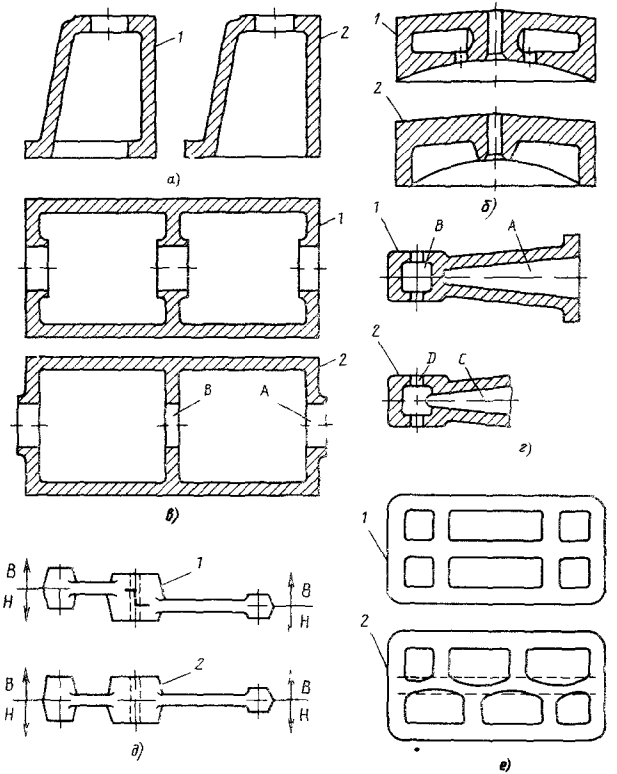


Рис. 35. Конструкции литых деталей при литье в кокиль, песчаную форму и по выплавляемым моделям:
1 — нетехнологичная; *2* — технологичная

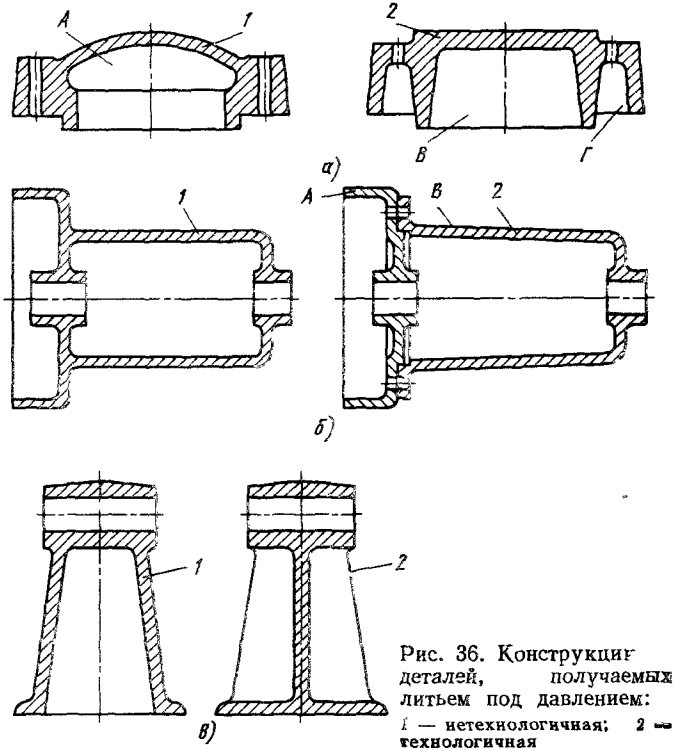


Рис. 36. Конструкции деталей, получаемых литьем под давлением:
1 — нетехнологичная; *2* — технологичная

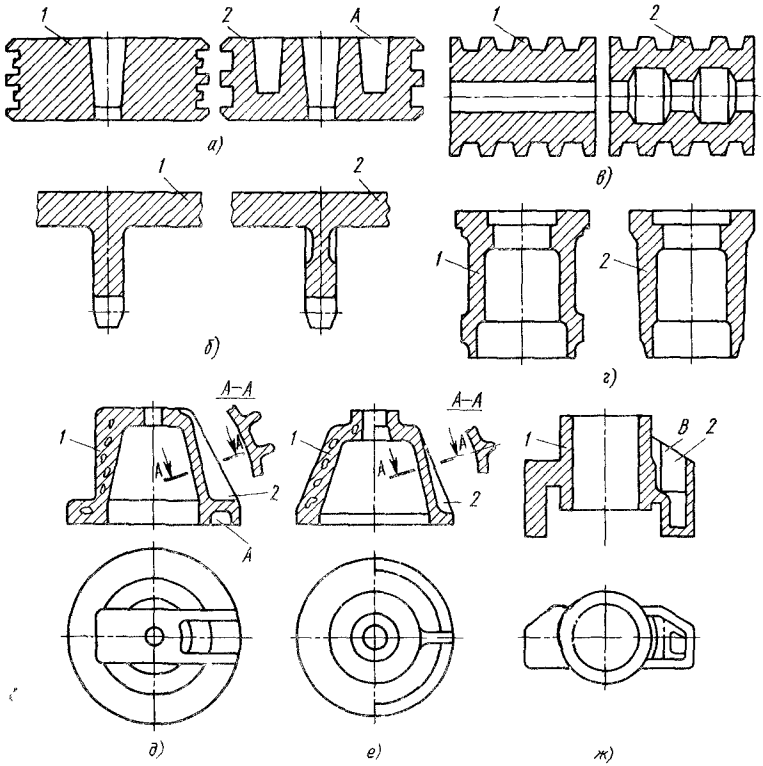


Рис. 37. Повышение технологичности и снижение металлоемкости отливок при литье:

а, б, в и *г* — в кокиль и в песчаные формы; *д—ж* — под давлением; *1* — нетехнологичная конструкция (высокая металлоемкость отливки); *2* — технологичная конструкция (низкая металлоемкость отливки)

жесткость конструкции и уменьшает опасность возникновения горячих трещин.

Отливка становится технологичной для литья под давлением после следующих конструктивных изменений в детали: рис. 36, *а* — вместо полости *А* с поднутрениями выполняют полости *В* и *Г*; рис. 36, *б* — деталь расчленяют на две самостоятельные детали *А* и *В*; в детали рис. 36, *в* — две опоры заменяют на одну, снабжая ее ребром жесткости, что позволяет одновременно выравнить толщину стенок отливки.

Конструктивные изменения деталей, показанных на рис. 37, приводят к снижению их металлоемкости и отсутствию литейных дефектов усадочного характера. В поршне (рис. 37, *а*) для устранения массива предусматривают дополнительную полость *А*; в венцах зубчатых колес (рис. 37, *б*), независимо от их диаметра, выполняют кольцевые канавки *В*; в муфте (рис. 37, *в*) внутреннее отверстие выполняют фигурным; в корпусе (рис. 37, *г*), изменяя конфигурацию наружных и внутренних стенок, обеспечивают направленную снизу вверх кристаллизацию отливки и удобное ее извлечение из формы; в крышках (рис. 37, *д*, *е* и *ж*) путем введения одного (рис. 37, *д*) или двух (рис. 37, *ж*) ребер жесткости

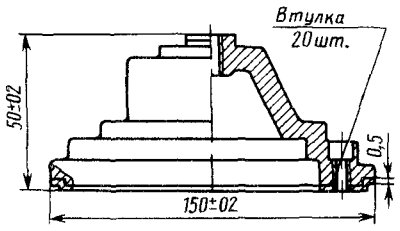


Рис. 38. Армированная отливка из алюминиевого сплава, получаемая литьем под давлением

На рис. 38 показано конструктивное исполнение литой детали для литья под давлением из алюминиевого сплава, армированной двадцатью латунными втулками. Армирование детали втулками позволяет избежать внутренних пороков литья при нарезке резьбы и обеспечить герметичность детали в сборке.

В ряде случаев экономически выгодным является расчленение детали на части с последующей их сваркой. Пример сварно-литой конструкции из сплава АЛ9 показан на рис. 39. Разделение конструкции «основания» на две

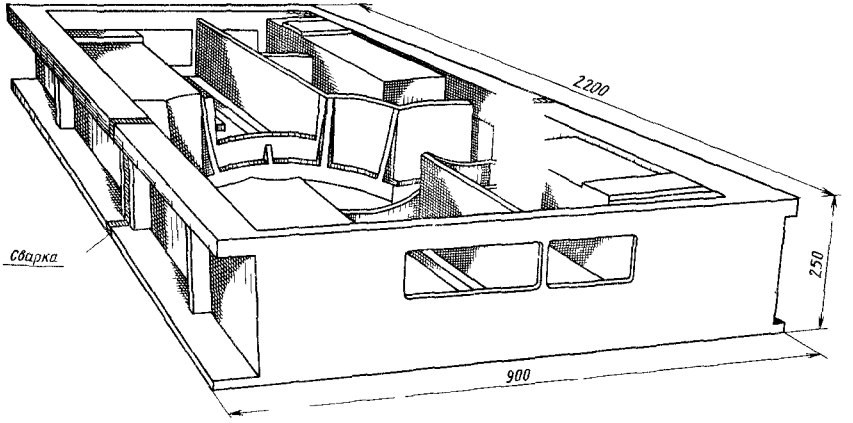


Рис. 39. Сварно-литая алюминиевая деталь

и выполнения полости *A* и *B* выравниваются толщины стенок отливок и устраняют пористость отливок при литье под давлением.

симметричные «части» позволяет отливать наиболее сложные конфигурации будущей детали и сваривать по ее прямолинейным поверхностям.

Глава II

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОСВОЕНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Литниковая система в общем случае (ГОСТ 18169—86) представляет собой систему каналов и элементов литейной формы для подвода расплавленного металла (расплава) в полость формы, обеспечения ее заполнения и питания при затвердевании. Элементы литниковой системы можно подразделить на подводящие и питающие. В некоторых случаях, например, при литье по выплавляемым моделям такого подразделения может и не быть.

После заполнения формы расплавом литниковая система и отливка в течение некоторого времени сообщаются между собой. Затем (вследствие затвердевания относительно тонких литниковых каналов) подача расплава прекращается, и отливка кристаллизуется независимо от литниковой системы. Малая продолжительность, а в большинстве случаев даже полное отсутствие питания затвердевающей отливки через подводящие элементы литниковой системы (как правило, через питатель) позволяет получить отливку (если на ней не установлены питающие элементы) без усадочных дефектов только при следующих условиях применение сплавов с малой объемной усадкой, отсутствие массивных узлов и утолщенных мест, низкая температура заливаемого в форму расплава, медленная заливка и др.

Для компенсации усадки сплава в период кристаллизации, предупреждения образования усадочных раковин и пористости служит питающий элемент литниковой системы — *прибыль*, представляющая собой добавочную полость (резервуар в литейной форме), заполняемую жидким металлом.

Помимо основной функции прибыль выполняет также дополнительные функции *выпора* и *шлакосборника*, через которые от отливки отводятся твердые неметаллические включения и газы.

1. Литниковые системы для заливки форм под напором стояка

Требования, предъявляемые к литниковым системам. Основные функции литниковых систем. В зависимости от места подвода металла к отливке и расположения питателей относительно плоскости разъема формы используемые при получении отливок из цветных сплавов литниковые системы подразделяют на следующие основные типы (рис. 1): верхнюю, нижнюю, боковую, вертикально-щелевую, ярусную и комбинированную.

Выбор того или другого типа литниковой системы зависит от многих факторов, главными из которых являются: положение отливки в форме и наличие разъема формы; габаритные размеры и конфигурация отливки; предъявляемые к отливке требования (ответственная или неответственная отливка); свойства сплава; возможности питания отливки прибылями; удобство отделения питателей от затвердевшей отливки.

Верхняя литниковая система (рис. 1, *а*) обеспечивает хорошую заполняемость при кратчайшем пути металла до формы, создает наиболее благоприятные условия для последовательной направленной кристаллизации отливки снизу к прибылям, не вызывает развития местных перегревов формы и связанных с этим дефектов. Она наиболее проста по выполнению, легко удаляется при обрубке литья и требует наименьшего по сравнению

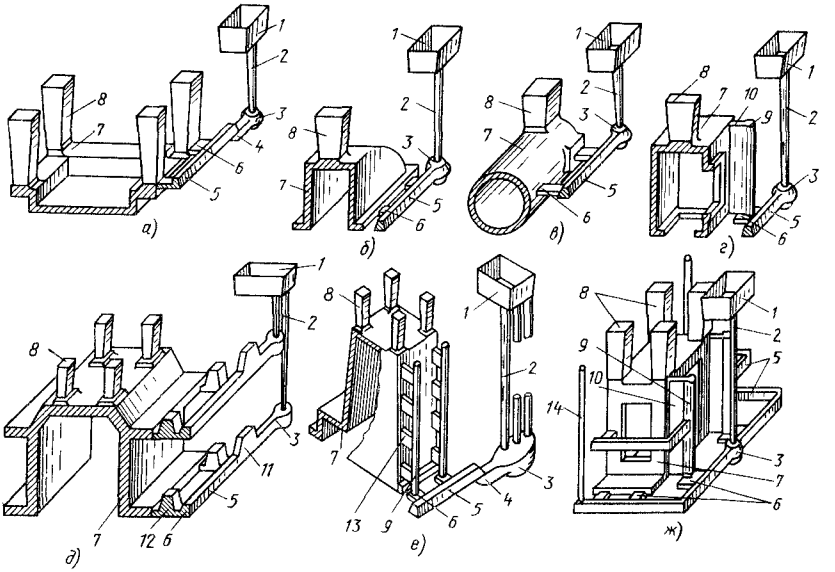


Рис. 1. Типы литниковых систем:

а — верхняя; *б* — нижняя; *в* — боковая (по разъему); *г* — вертикально-щелевая; *д* и *е* — ярусные соответственно с горизонтально и вертикально расположенными питателями; *ж* — комбинированная; *1* — чаша; *2* — стояк; *3* — зумпф; *4* — металлоприемник (промежуточный канал); *5* — коллектор; *6* — питатель горизонтальный; *7* — отливка; *8* — прибыли; *9* — колодец (обратный стояк); *10* — вертикальная щель; *11* — шлакосборник над коллектором; *12* — шлакосборник над питателем — питающая бобышка; *13* — питатель вертикальный; *14* — выпор

с другими типами литниковых систем расхода металла за счет уменьшения размеров прибылей. Основной недостаток этого типа систем — каскадный сброс расплава в форму, приводящий к его интенсивному перемешиванию и окислению, захвату воздуха, образованию пены и ее замешиванию внутрь отливки. При верхней литниковой системе ухудшаются также условия задержания шлака в коллекторе, так как питатели большую часть времени заливки не могут работать под затопленный уровень. Кроме того, верхняя литниковая система создает опасность размыва формы и стержней падающим с большой высоты потоком металла.

Отмеченные недостатки верхней литниковой системы в значительной мере могут быть устранены при заливке форм в наклонном положении или при выполнении заливки с кантовкой формы. Поэтому верхнюю литниковую систему часто применяют для отливок с высотой до 100 мм, а также при литье мелких деталей в кокиль, кантовку которого обеспечивать значительно проще, чем кантовку песчаной формы.

Нижняя литниковая система (рис. 1, *б*) в наибольшей степени обеспечивает спокойное заполнение формы расплавом, исключающее его вспенивание, разбрызгивание и окисление, хорошо задерживает неметаллические включения, находящиеся в расплаве до его поступления в форму, способствует удовлетворительной заполняемости и последовательному вытеснению воздуха и газов из полости формы. Нижняя литниковая система легко удаляется при обрубке, а расход металла на нее меньше, чем на вертикально-щелевую систему.

Однако при такой литниковой системе из-за перегрева нижних слоев

формы могут нарушиться тепловой режим охлаждающейся отливки и, следовательно, самый ход последовательной направленной кристаллизации, что может привести к образованию усадочных раковин и рыхлот. Чтобы избежать образования этих дефектов, применяют *холодильники*, устанавливают прибыли увеличенных размеров или доливают их горячим металлом. Но этих мер может оказаться недостаточно при литье сплавов с широким температурным интервалом кристаллизации, склонных к образованию рассеянной усадочной пористости. Кроме того, при нижней литниковой системе трудно обеспечить заполняемость тонкостенных высоких отливок с развитой поверхностью. Поэтому при $h_{отл}/\delta_{отл} > 50$ (где $h_{отл}$ — высота отливки без прибылей; $\delta_{отл}$ — средняя толщина стенки) для обеспечения заполняемости формы применяют вертикально-щелевую или комбинированную систему. Такой тип литниковой системы в наибольшей степени отвечает требованиям, предъявляемым к литниковым системам, и поэтому получил наибольшее распространение для литья цветных сплавов.

Боковая литниковая система (рис. 1, *в*) обеспечивает заполнение нижней части отливки сверху, а верхней части — снизу. Преимущество системы — удобство выполнения в форме.

Вертикально щелевая литниковая система (рис. 1, *г*) наряду со спокойным вводом расплава в форму обеспечивает хорошую заполняемость форм тонкостенных отливок, задерживает неметаллические включения при отшлаковывании в коллекторе и вертикальном колодце, создает благоприятные условия для последовательной, направленной снизу вверх кристаллизации отливок, обеспечивая подачу горячего металла в верхние слои отливки и прибыль. Таким образом, этот тип литниковой системы обеспечивает лучший тепловой режим и лучшую заполняемость тонкостенных высоких отливок, чем нижняя литниковая система.

К недостаткам вертикально-щелевой системы относятся: возможность вспенивания сплава в начальный момент заполнения формы и опасность возникновения местных перегревов формы в области, прилегающей к вертикальным щелям, приводящих к образованию дефектов усадочного характера, а также сложность ее выполнения в форме и удаления при обрубке.

Вертикально-щелевая литниковая система наиболее эффективна при литье высоких тонкостенных ($h_{отл}/\delta_{отл} \geqslant 50$) отливок цилиндрической и коробчатой форм, а также при литье мелких и средних отливок в кокили, наклоняемые для устранения опасности вспенивания расплава в начальной стадии заполнения.

Ярусная литниковая система (рис. 1, *д* и *е*) создает благоприятные условия для заполнения формы и кристаллизации отливки, так как наиболее горячие порции расплава поступают в верхнюю часть, а последовательная заливка снизу способствует спокойному заполнению и вытеснению воздуха. Недостаток этой системы — сложность ее изготовления, так как в этом случае необходимы несколько горизонтальных разъемов формы. Преимущественное применение ярусной системы — при литье в кокили с вертикальным разъемом. Кроме того, может использоваться при литье крупных высоких и тонкостенных отливок в песчаные формы.

Комбинированная литниковая система (рис. 1, *ж*), в которой сочетаются несколько типов систем, например, нижняя система с вертикально-щелевой обладает преимуществами этих систем. В этом случае форма спокойно заполняется расплавом, рационально распределяется температура по сечению отливки и тем самым обеспечивается ее последовательная кристаллизация. Эту систему применяют преимущественно для заливки крупногабаритных отливок сложной конфигурации в песчаных формах, особенно в тех случаях, когда площади горизонтальных сечений отливки резко меняются с ее высотой. Недостаток комбинированной системы — сложность выполнения и удаления ее при обрубке, а также повышенный расход металла.

Режим заполнения форм расплавом регулируют таким образом, чтобы рабочая полость формы полностью запол-

нилась и в нее не проникли пена, шлаки и другие неметаллические включения, вызывающие загрязнение отливок. От режима заполнения зависит также образование таких дефектов, как усадочные раковины, пористость, трещины, коробление, ужимины, пригар, т. е. дефектов, связанных с тепловыми условиями затвердевающей отливки и взаимодействием расплава с материалом формы.

Таким образом, для заполнения формы в указанном режиме, литниковая система должна обеспечить: 1 — заполняемость формы; 2 — ламинарное течение расплава по каналам литейной формы или течение с минимально допустимой турбулентностью; 3 — задержание неметаллических включений; 4 — положительное давление металла в каналах литейной формы; 5 — рациональное распределение температур в охлаждающейся отливке.

Режим заполнения форм расплавом зависит от конструкции литниковой системы и размеров ее основных элементов, способствующих заполнению формы с заданной скоростью потока.

Выполнение первой и третьей функций литниковой системы зависит в основном от ее размеров и меньше — от ее конструкций. Выполнение второй и четвертой функций в одинаковой мере зависит как от конструкции, так и размеров литниковой системы. Пятая функция главным образом зависит от конструкции литниковой системы.

Многообразие функций литниковой системы и ее влияние на технологию изготовления литейной формы определяют многообразие требований, предъявляемых к ней. Из этих требований можно выделить два основных. Во-первых, литниковая система должна обеспечить выполнение своих основных функций, т. е. обеспечить качество поступающего в форму расплава и создать наилучшие условия для формирования отливки без дефектов после заполнения формы. Во-вторых, литниковая система должна быть простой по конструкции и небольшой по объему, чтобы обеспечить высокий выход годного литья и наименьшие трудовые и материальные затраты, т. е. обеспечить экономичность изготовления отливки.

Гидравлика литниковых систем и ее особенности. Заполнение литейной формы жидким металлом сопровождается тепловыми и физико-химическими процессами, протекающими как в жидком металле, так и на его границе с окружающей средой и формой. Степень влияния этих процессов на гидравлику литниковых систем зависит от физико-химических свойств заливаемого сплава и материала литейной формы. Чем несовершеннее литниковая система в гидравлическом отношении, тем разнообразнее возникающие в отливке дефекты металлургического происхождения, а также дефекты, которые являются результатом термического, физико-химического и механического взаимодействий металла с окружающей средой и формой. Поэтому при рассмотрении процесса заполнения литейной формы и проектировании литниковой системы к чисто гидравлическим вопросам добавляются вопросы, относящиеся не непосредственно к литниковой гидравлике, а к проблеме получения качественной отливки.

Особенности динамики потоков на отдельных этапах заполнения формы. При подаче расплава в чашу свободно падающей струей его поверхность, контактируя с воздухом, окисляется. Интенсивность окисления расплава возрастает с увеличением высоты падения струи, а также при его разбрызгивании (дроблении) и разрыве оксидной пленки. Поэтому при заливке форм открытой струей необходимо соблюдать меры предосторожности, способствующие минимальному окислению расплава.

Движение расплава в литниковой чаше. Струя металла, попавшая в чашу, разбрызгивается, захватывает воздух и окисляется в тем большей степени, чем больше мощность N падающей струи, площадь F ее поперечного сечения, скорость движения v и высота падения $H_{ст}$:

$$N = \frac{Mv^2}{2\tau} = \frac{Q\rho_c v^2}{2} = \frac{F\rho_c v^3}{2} = \frac{F\rho_c \mu^3 \sqrt{(2gH_{ст})^3}}{2},$$

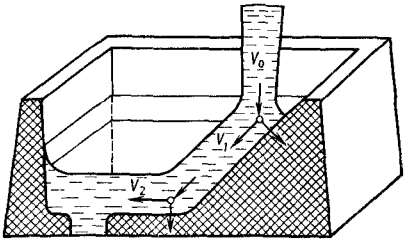


Рис. 2. Схема движения расплава при подаче струи на наклонную стенку чаши

где M — масса струи; Q — секундный расход; ρ_c — плотность; τ — время падения струи; μ — коэффициент гидравлических потерь.

Сила P удара струи уменьшается, если струя падает на наклонную стенку чаши, а угол наклона равен 45° (рис. 2);

$$P = Q\rho_c (v_0 - v_2) = Q\rho_c v_0 (1 - \cos\alpha \sin\alpha),$$

где α — угол наклона стенки чаши; v_0 — скорость падающей струи сплава; v_2 — скорость струи по дну чаши;

$$v_2 = v_1 \sin\alpha = v_0 \sin\alpha \cos\alpha,$$

где v_1 — скорость струи по наклонной стенке. При $\alpha = 45°$ $\cos\alpha \sin\alpha = {}^1/_2$, $P = Q\rho_c v_0/2$, т. е. P имеет минимальное значение.

При $\alpha = 90°$ (вертикальная стенка) или $\alpha = 0°$ (горизонтальной стенкой является дно) $P = Q\rho_c v_0$, т. е. имеет максимальное значение.

При движении металла по дну чаши с порогом в ней создается восходящий поток, способствующий выносу шлака на поверхность расплава. При этом на каждую частицу шлака действуют три силы (рис. 3): подъемная сила *1* (когда плотность частицы меньше плотности расплава), уносящая сила потока *2* и центростремительная сила *3*, направленная к центру вращения. Чем сильнее завихрения (с горизонтальной осью вращения), тем скорее силы *2* и *3* превысят силу *1* и тем раньше частица шлака, пройдя по спирали, достигнет центра вращения, в котором и задержится, пока расплав поступает в литниковую чашу.

Движение расплава в стояке. Различают течение при полном (заполненные стояки) и неполном (незаполненные стояки) сечениях стояка (рис. 4). В заполненном стояке (рис. 4, *а*) расплав, как правило, окисляется незначительно, и шлак не задерживается, так как скорость потока расплава в нем в несколько раз больше максимальной скорости всплытия шлака, равной, например, 8,1 в алюминиевых и 6,9 см/с в магниевых сплавах. Движение сплава в незаполненном вертикальном стояке (рис. 4, *б*) мало чем отличается от его движения свободно падающей струей. В таком стояке происходит частичное отшлаковывание металла, а в случае наклонного расположения стояка уменьшаются захват воздуха, разбрызгивание и завихрение потока. Положительным фактором заливки через

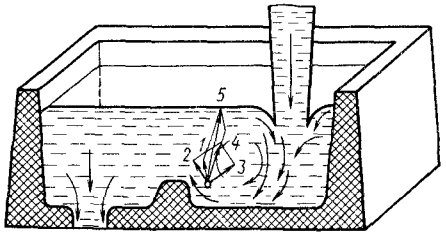


Рис. 3. Схема движения расплава в литниковой чаше:

1 — подъемная сила; *2* — уносящая сила потока; *3* — центростремительная сила; *4* — равнодействующая сил *2* и *3*; *5* — равнодействующая сил *1*, *2* и *3*

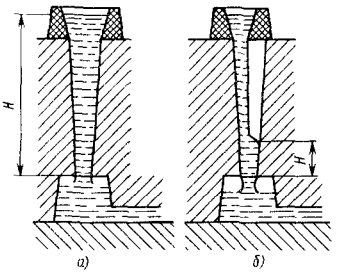


Рис. 4. Течение расплава в стояках при полном (*а*) и неполном (*б*) сечениях:

H — напор, при котором расплав течет из стояка в коллектор

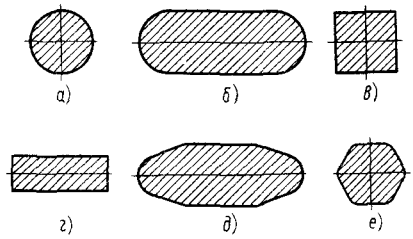


Рис. 5. Сечения стояков:

а — круглое; *б* — овальное; *в* — квадратное; *г* — прямоугольное; *д* и *е* — многоугольное

незаполненный стояк является также то, что истечение из него сплава происходит с небольшой скоростью ввиду малого статического напора металла.

Для увеличения гидравлических потерь, а значит, снижения скорости и турбулентности потока при литье цветных сплавов заполненные стояки выполняют небольших сечений, круглые стояки заменяют стояками прямоугольного сечения, прямые вертикальные — наклонными и зигзагообразными. Сечения и профили применяемых на практике стояков приведены на рис. 5 и 6. При литье цветных сплавов литниковые системы с заполненными стояками нашли большее распространение, чем системы с незаполненными стояками, хотя в некоторых случаях, особенно при литье в кокиль мелких и средних отливок из алюминиевых и медных сплавов, последние также успешно применяют.

Движение на участке перехода от стояка к коллектору. Наиболее значительные по объему и характеру возмущения развиваются на участке, являющемся переходом от стояка к коллектору, т. е. на начальном участке системы. Следовательно, конструкция этого участка, содержащего зумпф стояка, металлоприемник, различные промежуточные каналы, должна в максимальной степени способствовать смягчению удара в дно стояка, уменьшение пено- и вихреобразования, плавному введению расплава в коллектор и задержанию образовавшихся под стояком неметаллических включений на начальном участке коллектора (рис. 7).

Наиболее простыми по форме являются начальные участки: без расширения коллектора (рис. 7, *а*), с расширением коллектора (рис. 7, *б*), с расширением и возвышением дна коллектора (рис. 7, *в*), с одновременным расширением и углублением коллектора (рис. 7, *г*). Начальные участки (рис. 7, *д*, *ж*, *и*, *к*, *м*, *н*, *п*, *с*) позволяют вводить расплав в коллектор снизу вверх, что обеспечивает лучшее отделение шлаков и одновременно создает дополнительные гидравлические потери при входе расплава в коллектор, снижающие скорость потока в нем.

В системе (рис. 7, *и*) над коллектором предусмотрено возвышение — шлакосборник, который уменьшает

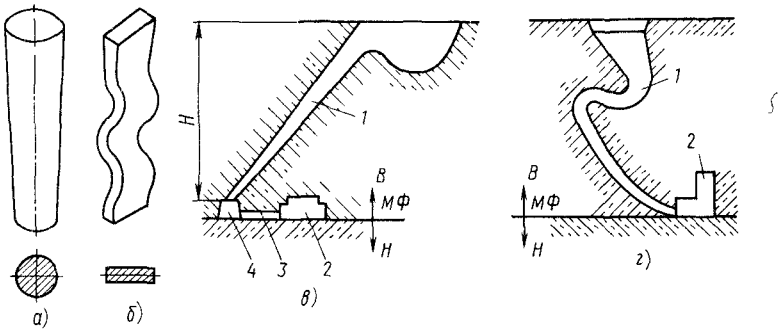


Рис. 6. Профили стояков:

а — прямой; *б* — змеевидный; *в* — наклонный; *г* — наклонный («гусиная шейка»); *1* — стояк; *2* — отливка; *3* — питатели; *4* — коллектор

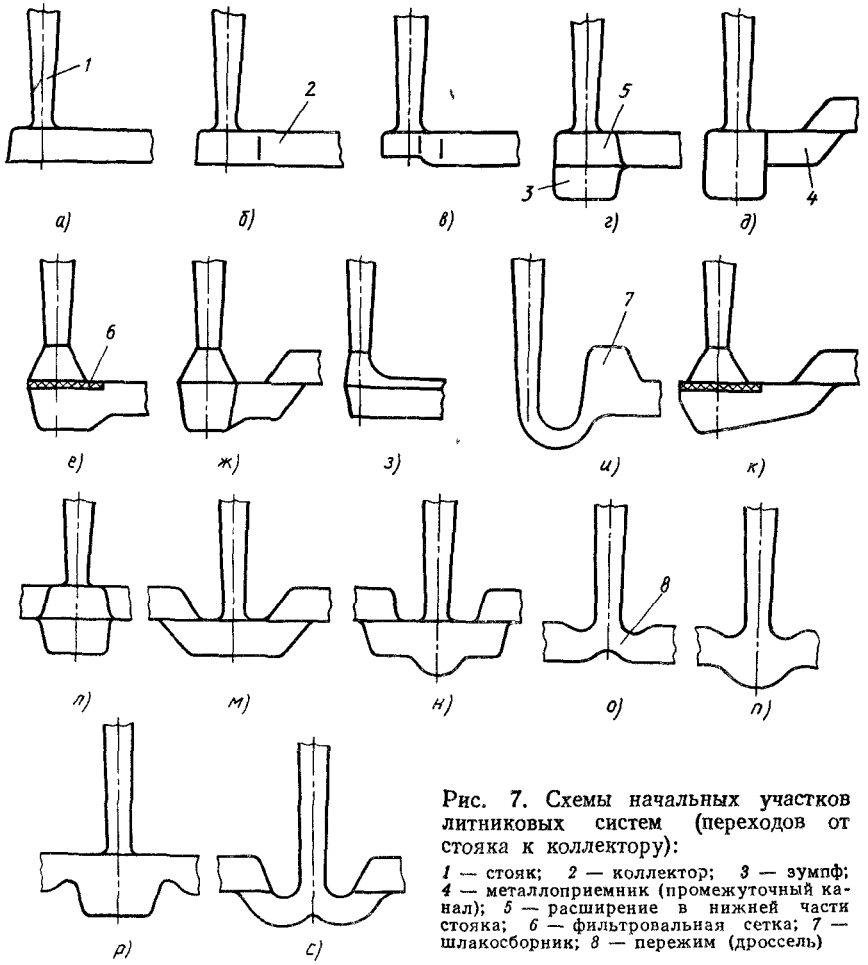


Рис. 7. Схемы начальных участков литниковых систем (переходов от стояка к коллектору):

1 — стояк; *2* — коллектор; *3* — зумпф; *4* — металлоприемник (промежуточный канал); *5* — расширение в нижней части стояка; *6* — фильтровальная сетка; *7* — шлакосборник; *8* — пережим (дроссель)

удар потока расплава о потолок коллектора и, кроме того, задерживает образующуюся пену. В системах с расширяющимся в нижней части стояком (рис. 7, *е*, *ж*, *к*) предусматривают фильтры, которые устанавливают в этой части стояка. Начальные участки (рис. 7, *о*, *р*), имеющие собственные сужения, способствуют плавному вводу расплава в коллектор, а также уменьшают образование пены и вакуума в местах сочленения стояка с горизонтальным каналом. Плавный переход от стояка к коллектору (рис. 7, *з*) уменьшает разбрызгивание расплава в нижней части стояка.

Движение расплава в коллекторе и питателях. Чтобы первые порции расплава не попадали в питатели, их не размещают под стояком или под коллектором, а также не присоединяют к его задней стенке. В большинстве случаев питатели располагают в одной форме с коллектором и под прямым углом к нему (рис. 8, *а*). Это исключает воздействие на питатель скоростного напора металла, протекающего в коллекторе. Кроме того, ответвление

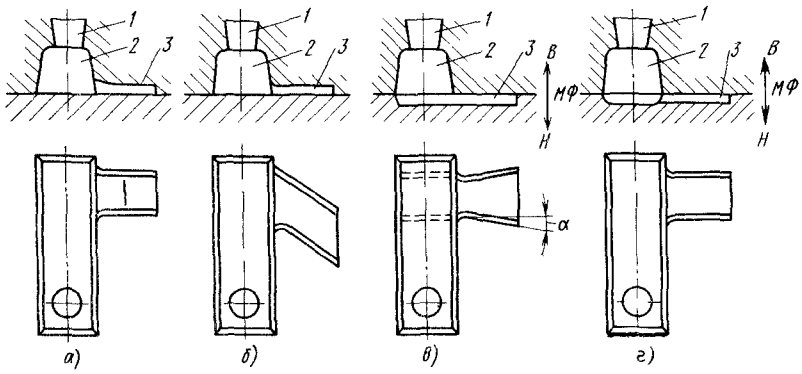


Рис. 8. Схема взаимного расположения коллектора и питателей:
а — коллектор и питатели в одной полуформе; питатель расширен в направлении к отливке, имеет утолщение в направлении к коллектору и расположен к нему под прямым углом; *б* — коллектор и питатель в одной полуформе; питатель составляет с коллектором тупой угол; *в* — коллектор и питатели в разных полуформах; *г* — часть коллектора расположена в нижней полуформе; питатель отведен от этой части коллектора; *1* — стояк; *2* — коллектор; *3* — питатель

питателя под прямым углом создает большие гидравлические сопротивления на входе в питатель, что снижает скорость потока. Однако в этом случае в питателях могут образоваться незаполненные зоны и возможен подсос воздуха потоком расплава. Поэтому питатели необходимо плавно сопрягать с коллектором, а при возможности отводить от него под тупым углом (рис. 8, *б*).

Преждевременному (до заполнения коллектора) затеканию расплава в питатели препятствуют силы поверхностного натяжения и гидравлические сопротивления на входе. Напор h, необходимый для преодоления сил поверхностного натяжения, обратно пропорционален толщине питателя $\delta_п$; его значение определяют по формуле

$$h = \frac{2\sigma}{\delta_п \rho_c g} \cos \varphi,$$

где σ — поверхностное натяжение расплава; φ — краевой угол смачивания.

Минимальные значения напора h в зависимости от $\delta_п$ для случая течения алюминиевого расплава в коллекторе при $t_{зал} = 720$ °С; $\rho = 2400$ кг/м³; $\sigma = 0{,}82$ Н/м; $\varphi = 180°$ и полном несмачивании формы расплавом:

$\delta_п$, мм	3	4	5	6	10	12	14
h, мм	23	17	14	12	7	6	5

Близкими к приведенным получаются значения напора и для магниевых сплавов при $\rho_c = 1640$ кг/м³ и $\sigma = 0{,}53$ Н/м.

В случае расположения питателей ниже дна коллектора [накладные питатели (рис. 8, *в*)] металл, текущий по дну коллектора, ударяется о стенку канавки и преждевременно попадает в питатель. Кроме того, уступы в коллекторе создают дополнительные возмущения, увеличивающие турбулентность потока в питателях. Поэтому, если это необходимо по условиям формовки, в нижней полуформе размещают часть коллектора (обычно не более 0,2—0,3 его высоты) и уже от этой части отводят питатель (рис. 8, *г*).

Для замедления скорости потока на входе в форму питатели делают расширяющимися в направлении от коллектора к отливке (см. рис. 8, *в*). Однако угол α расширения питателя не должен превышать 8—10°, иначе при больших уклонах возможен отрыв от стенки элементарных струй и их завихрение.

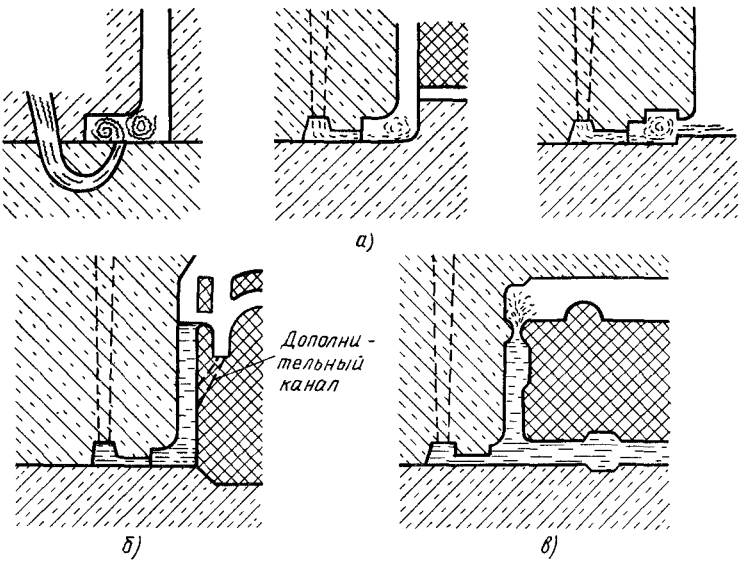


Рис. 9. Некоторые виды потоков, встречающихся в форме при нижнем подводе расплава:

а — образование открытых вихрей при большой скорости поступления расплава; *б* — слив-падение расплава с одного уровня на другой (канал, устраняющий слив, показан штриховой линией); *в* — образование фонтана при переходе от широкого сечения отливки к узкому при большой скорости заполнения

Движение расплава в полости формы является наиболее ответственной стадией всего процесса заполнения, от которой в конечном итоге зависит получение качественной отливки. С характером течения расплава в рабочей полости формы во многом связано загрязнение отливки вторичными шлаками, образование неслитин и других дефектов. Динамика потока расплава в полости формы зависит от скорости вытекания металла из питателей, направления потока, высоты его падения и конфигурации самой полости формы.

Если расплав подводится в полость формы из питателей, примыкающих к нижнему ее основанию (рис. 9), и его течение вначале проходит по дну формы, то решающее значение имеет начальный период заливки. При высокой скорости потока в питателях или при ударе металла о вертикальные стенки формы в этом случае возможны образование открытых вихрей, захват воздуха, а также падение, фонтанирование и разбрызгивание расплава.

Высота фонтана, образующегося при входе расплава в форму:

$$h_{\Phi} = H - \sum h_{\text{п}},$$

где H — напор; $\Sigma h_{\text{п}}$ — сумма потерь напора.

Таким образом, для уменьшения высоты фонтана необходимо уменьшить скорость движения расплава на выходе из питателя, увеличивая сумму потерь $\Sigma h_{\text{п}}$, площадь сечений $F_{\text{п}}$ или расширяя питатели в направлении к отливке (см. рис. 8, *в*).

При заполнении через нижнюю литниковую систему тонкостенных крупногабаритных отливок первоначально происходит простое одномерное течение, однако затем оно нарушается и возникает проточно-поперечное течение расплава, которое является лимитирующим звеном процесса заполнения и одним из источников дефектов типа неслитин.

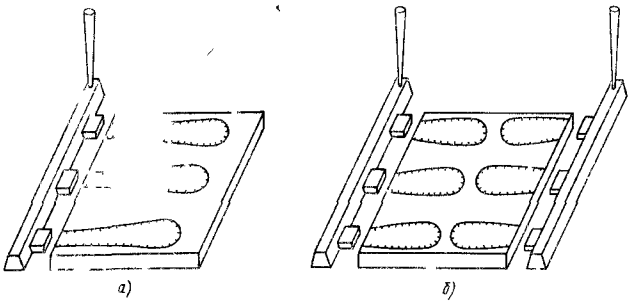


Рис. 10. Заполнение плоскостных отливок в горизонтальном положении: *а* — схема параллельно движущихся потоков; *б* — встречные потоки

При заливке плоскостных отливок в горизонтальном положении для движения расплава в форме характерно образование параллельно движущихся (рис. 10, *а*) и встречных (рис. 10, *б*) потоков. Заполнение таких отливок происходит неравномерно: входящий в форму поток вначале продвигается узким фронтом к задней стенке и только затем, отбрасываясь от нее или от встречного потока, растекается по всей ширине формы, заполнение которой теперь уже осуществляется как прямым, так и возвратным течением расплава. Это приводит к тому, что ближайшие к питателю углы плиты заполняются в последнюю очередь. В зависимости от конфигурации отливки и способа подвода расплава к ней могут встречаться и более сложные формы движения расплава в литейной форме.

Коэффициент расхода μ учитывает все потери напора в литниковой системе и рабочей полости формы. Его значения необходимы для расчета действительной скорости v течения металла в любом поперечном сечении канала

$$v = \mu v_т = \mu\sqrt{2dH}, \qquad (1)$$

где $v_т$ — теоретическая скорость движения металла.

Расчитать μ можно по известной формуле

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum\zeta_с + \sum\zeta_к\left(\frac{F_с}{F_к}\right)^2 + \sum\zeta_п\left(\frac{F_с}{F_к}\right)^2}}, \qquad (2)$$

где $\Sigma\zeta_с$, $\Sigma\zeta_к$, $\Sigma\zeta_п$ — суммы местных и линейных коэффициентов гидравлических сопротивлений соответственно стояка, коллектора и питателей, отнесенные к расчетной площади поперечного сечения канала (в данном случае стояка).

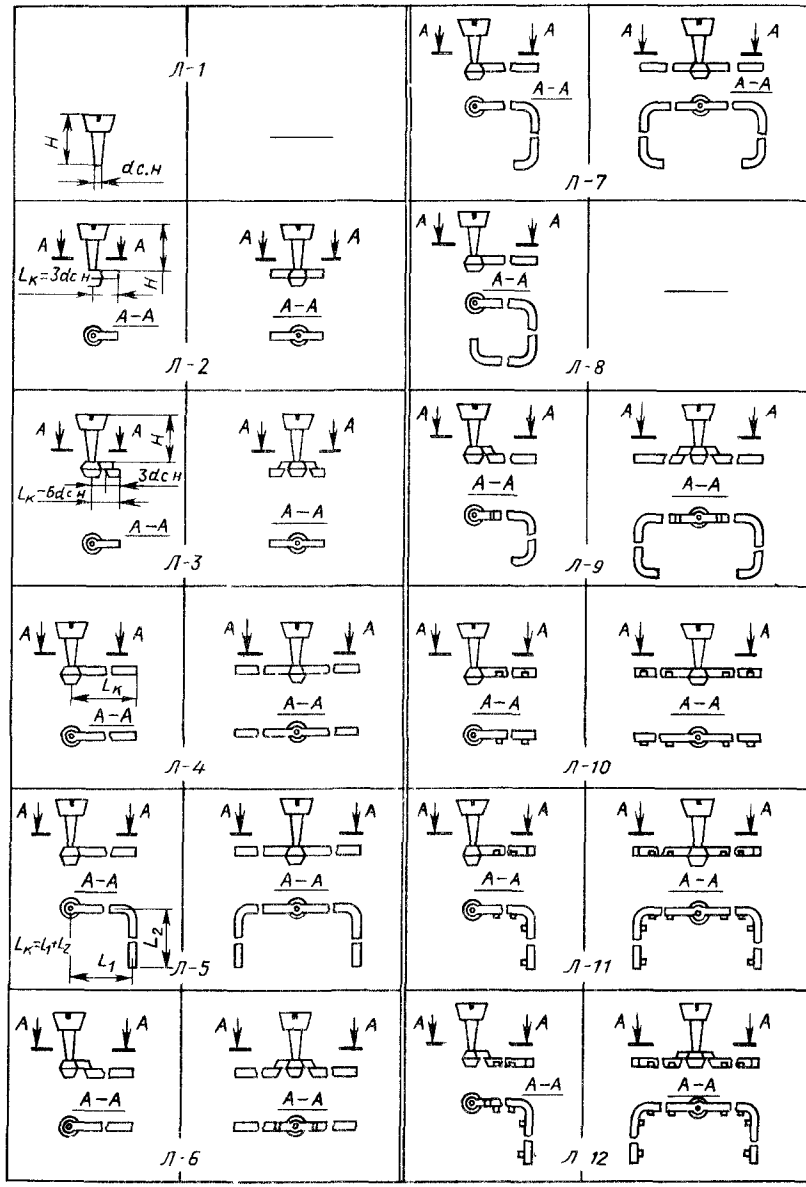
Однако выполнение расчетов по формуле (2) в значительной степени затруднено вследствие необходимости применения метода последовательных приближений, так как перед началом расчета неизвестны площади поперечных сечений литниковых каналов. Поэтому в большинстве случаев в расчетах используют экспериментальные значения μ, установленные при моделировании литниковых систем водой или заливки жидким металлом.

Значения μ получают при испытаниях литниковых систем специальных конструкций (табл. 1), изменяя размеры систем и условия заливки (рис. 11): высоту чаш от 70 до 280 мм, высоту стояков от 150 до 1200 мм, диаметр стояков от 8 до 30 мм, длину коллектора от 150 до 1200 мм, количество питателей от 2 до 12, температуру заливки сплавов АЛ2 и АЛ9 от 680 до 800 °С.

На величину коэффициента расхода наибольшее влияние оказывают форма и размеры литниковых каналов (рис. 12—15) — гидравлические факторы — и температура заливки (рис. 16). Основные гидравлические потери сосредоточены в стояке (Л-1) (см. табл. 1), повороте коллектора (Л-2) и самом коллекторе (Л-3). Форма и размер зумпфа, влажность песчаной

1. Типы литниковых систем

Односторонний коллектор Л-А	Двусторонний коллектор Л-В	Односторонний коллектор Л-А	Двусторонний коллектор Л-В
Л-1	—	Л-7	
Л-2		Л-8	—
Л-3		Л-9	
Л-4		Л-10	
Л-5		Л-11	
Л-6		Л-12	



Примечание. Л-1, ..., Л-12 — типы литниковых систем; Л-А, Л-В — типы коллекторов.

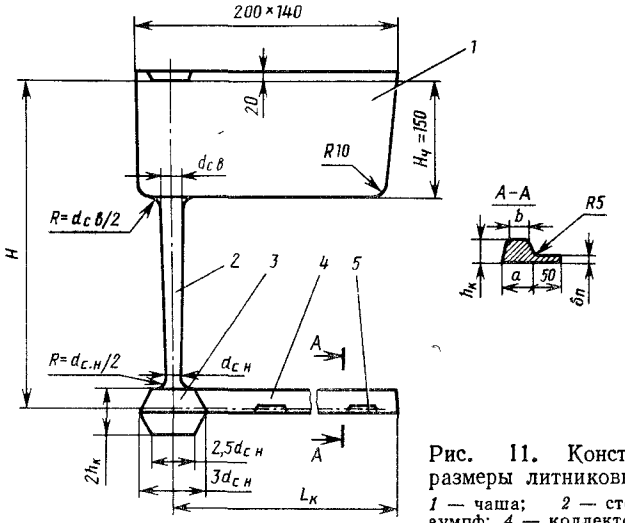


Рис. 11. Конструктивные размеры литниковых систем:
1 — чаша; *2* — стояк; *3* — зумпф; *4* — коллектор; *5* — питатель; $b = 0{,}8a$; $h_к = 1{,}2\,a$

формы и шероховатость ее поверхности, состав заливаемого сплава, способ подвода металла к отливке не оказывают существенного влияния на μ. Сопротивление рабочей полости формы незначительно и учитывается при толщине стенок отливок до 10 мм введением в значения μ поправки, которую принимают равной 5—7 % коэффициента расхода литниковой системы. При $\delta_{отл} > 10$ мм и верхнем подводе металла влиянием сопротивления рабочей полости формы на μ можно пренебречь.

Значения коэффициента расхода $\mu_ч$ литниковых чаш (см. рис. 11) и наи-

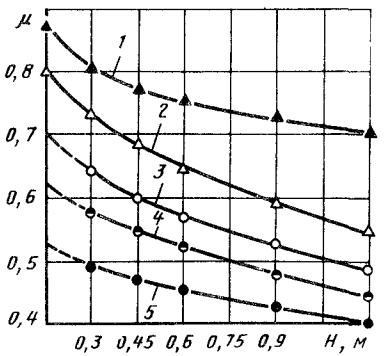


Рис. 12. Зависимость коэффициента расхода от напора H:
$t_{зал} = 720$ °С; $h_ч = 150$ мм; $d_{с.н} = 12$ мм; $F_с : F_к : F_п = 1 : 2 : 4$; число питателей $n = 4$; $L_к = 600$ мм; *1* — Л-1А; *2* — Л-3А; *3* — Л-4А; *4* — Л-9А; *5* — Л-11А

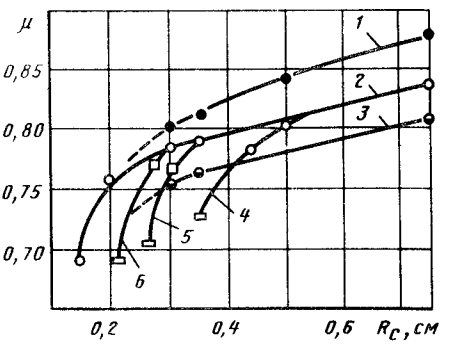


Рис. 13. Зависимость коэффициента расхода системы Л-1 от гидравлического радиуса стояков круглого (кривые *1*—*3*) и прямоугольного (кривые *4*—*6*) сечений:
$t_{зал} = 720$ °С; $h_ч = 150$ мм; высота $H_{ст}$ (м) падения струи для кривых: *1* — 0,3; *2*, *4*, *5* и *6* — 0,4; *3* — 0,6; $F_с$ (см²) для кривых: *4* — 3,14; *5* — 1,54; *6* — 1,13

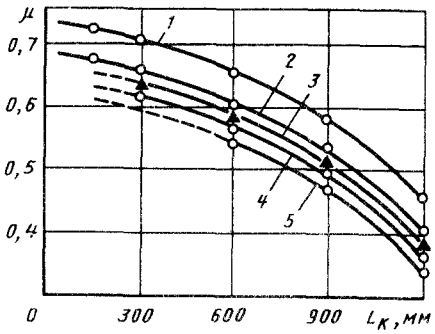


Рис. 14. Зависимость коэффициента расхода от длины коллектора:
$t_{зал} = 720$ °С; $H_{ст} = 450$ мм; $h_ч = 150$ мм; $d_{с.н} = 12$ мм; $F_С : F_К = 1 : 2$; *1* — для Л-4А ($F_С : F_К = 1 : 4$); *2* — Л-4А; *3* — Л-5А; *4* — Л-7А; *5* — Л-9А

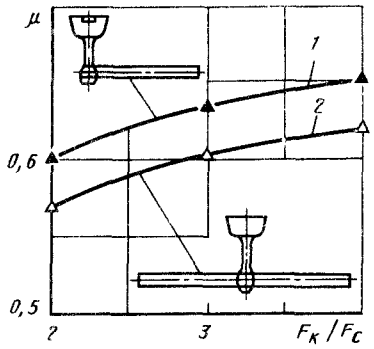


Рис. 15. Зависимость коэффициента расхода от отношения $F_К/F_С$:
$t_{зал} = 720$ °С; $H_{ст} = 450$ мм; $h_ч = 150$ мм; $d_{с.н} = 12$ мм; $L_К = 600$ мм; *1* — для Л-4А; *2* — для Л-4В

более употребительных горизонтальных литниковых систем приведены соответственно в табл. 2 и 3.

Приведенными значениями коэффициента расхода можно пользоваться при расчете литниковых систем не только для алюминиевых, но и других цветных сплавов при средних температурах заливки. Если температура заливки сплава равна нижней границе предела, то табличное значение μ уменьшают на 0,05—0,06; при $t_{зал}$, равной верхней границе предела, значение увеличивают на 0,05—0,06.

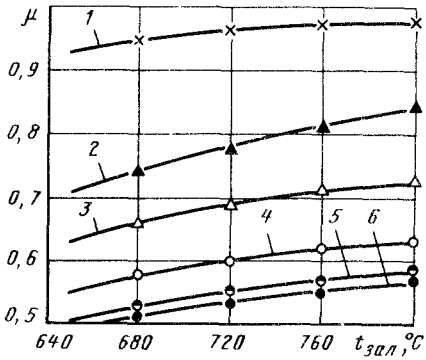


Рис. 16. Зависимость коэффициента расхода от температуры заливки расплава:
$H_{ст} = 450$ мм; $h_ч = 150$ мм; $d_{с.н} = 12$ мм; $L_К = 600$ мм; $n = 4$; $F_С : F_К : F_П = 1 : 2 : 4$; *1* — для чаши; *2* — Л-1; *3* — Л-2А; *4* — Л-4А; *5* — Л-9А; *6* — Л-11А

Режим движения жидкого металла (состояние потока) *в каналах литейной формы* характеризуется критерием Рейнольдса:

$$Re = \frac{4vR}{\nu} = \frac{vd}{\nu}, \qquad (3)$$

2. Коэффициент расхода литниковых чаш

Диаметр выходного отверстия чаши, мм	$H_ч$, мм	$t_{зал}$, °С	$\mu_ч$
12	70	720	0,980
	150		0,970
	200—280		0,965
	150	680	0,950
		760	0,975
		800	0,980
20		720	0,975
30			0,985

3. Коэффициент расхода горизонтальных литниковых систем

Конструкция литниковой системы (см. табл. 1)	Напор 300 мм в системах с коллектором типа		Напор 450 мм в системах с коллектором типа			
	A	*B*	*A*		*B*	
	при диаметре стояка, мм					
	12			20	12	20
Л-1	0,80	—	0,79	0,80	—	—
Л-2	0,73	0,79	0,69	0,70	0,66	0,68
Л-3	0,71	0,68	0,67	0,69	0,64	0,66
Л-4	0,64	0,60	0,60	0,62	0,57	0,59
Л-5	0,62	0,59	0,58	0,60	0,56	0,57
Л-6	0,62	0,59	0,59	0,60	0,56	0,58
Л-7	*0,59*	*0,56*	*0,56*	*0,58*	*0,54*	*0,55*

Примечание. Значения коэффициента расхода получены при $t_{зал} = 720$ °С; $h_ч = 150$ мм; $L_к = 600$ мм; $F_с : F_к = 1 : 2$.

где R — гидравлический радиус канала в рассматриваемом сечении; $R = F/P$ (F — площадь живого сечения потока, м², и P — смоченный периметр канала, м); v — средняя по сечению канала скорость движения металла, м/с; d — диаметр канала, м; ν — коэффициент кинематической вязкости расплава, м²/с.

Тот или иной режим течения жидкости определяется нижним $Re_{кр.н}$ и верхним $Re_{кр.в}$ критическими числами Рейнольдса. При значениях $Re < Re_{кр.н}$ возможен только ламинарный режим, а при значениях $Re > Re_{кр.в}$ — турбулентный режим (рис. 17). В интервале между нижним и верхним критическими числами Рейнольдса, т. е. при $Re_{кр.н} < Re_{п.з} < Re_{кр.в}$, расположена так называемая переходная зона, в которой возможно существование как ламинарного, так и турбулентного режимов.

При ламинарном движении (рис. 18, *а*) распределение скоростей по сечению канала имеет параболический характер, а потери напора пропорциональны скорости в первой степени.

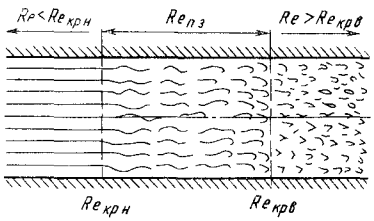


Рис. 17. Структура потока жидкости при переходе ламинарного режима в турбулентный режим

При турбулентном движении (рис. 18, *б*) закон распределения скоростей сложнее [в большей части поперечного сечения канала скорости лишь незначительно меньше максимального значения (на оси), но зато *вблизи стенок скорость резко падает*], а гидравлические потери пропорциональны скорости в степени, большей единицы.

Для получения качественных отливок из цветных сплавов литейные формы должны заполняться ламинарными потоками. Однако этого нельзя *добиться при заливке форм под напором* стояка. Поэтому определяют допустимую степень турбулентности потока в литниковых каналах и рабочей полости формы, не приводящую к заметному загрязнению отливок неметаллическими включениями (образо-

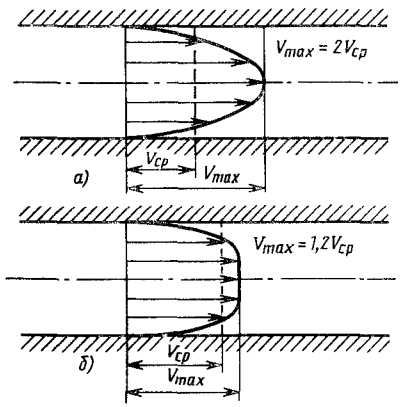


Рис. 18. Распределение скоростей при различных режимах движения жидкости в круглом канале

вание пены, шлаков и др.). Допустимая турбулентность характеризуется максимально допустимым значением критерия Рейнольдса.

Однако, чтобы избежать погрешностей, вносимых значениями кинематической вязкости сплавов, литейщики часто используют в расчетах произведение скорости потока в канале v на его гидравлический радиус R. Это произведение, как следует из уравнения (3), при постоянном значении ν характеризует допустимую турбулентность потока, т. е.

$$vR = \frac{\mathrm{Re}_{max}\,\nu}{4}.$$

Экспериментально полученные на сплаве АЛ9 ($t_{зал} = 760$ °С; $\nu = 5{,}2 \times 10^{-7}$ м²/с с учетом увеличения вязкости на 30 % против справочных данных за счет окисления сплава) значения чисел Re_{max} и vR, а также (для сравнения) рассчитанные (при $\nu = 6 \cdot 10^{-7}$ м²/с) по данным Е. М. Ноткина, полученным при моделировании литниковых систем водой, приведены в табл. 4. Максимально допустимые значения чисел Re_{max} и vR можно использовать в качестве расчетных величин при заливке алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

Заполняемость литейной формы. Условия, при которых происходит возможно более полное заполнение литейной формы без образования в отливке неслитин, спаев, недоливов и тому подобных дефектов, непосредственно связаны с теплопередачей и степенью перегрева расплава над точкой нулевой жидкотекучести.

Заполняемость литейной формы будет обеспечена и образование указанных выше дефектов исключено, если средняя фактическая скорость течения (подъема) расплава в форме $v_ф$ не будет меньше некоторой минимально допустимой для данных условий литья $v_{ф\,min}$, т. е. будет соблюдено условие $v_ф \geqslant v_{ф\,min}$. Поэтому на практике расчет формы на заполняемость в основном сводится к расчету $v_ф$ по известным величинам среднего расчетного напора и расхода расплава через литниковую систему и сопоставлению ее с $v_{ф\,min}$, определяемой расчетом или выбираемой по графикам или таблицам.

4. Максимально допустимые значения чисел Рейнольдса

Участок на пути следования потока металла	Re_{max} по данным		$vR = \frac{\mathrm{Re}\nu}{4}$ см²/с по данным	
	Н. М. Галдина	Е. М. Ноткина	Н. М. Галдина	Е. М. Ноткина
Стояк	43 500	48 300	65,25	72,5
Коллектор	28 000	33 800	42,0	50,75
Питатели	7 800	5 300	11,7	7,96
Форма: простая	2 600	1 350	3,9	2,03
сложная	780		1,17	

На $v_{ф\,min}$ оказывают влияние ряд теплофизических (температура заливки сплава и его удельная теплоемкость, температура формы, свойства материала формы, характеризующиеся коэффициентом теплоотдачи) и гидравлических (конфигурация, высота и толщина стенки отливки, число и расположение прибылей, способ подвода металла к ней и др.) факторов. Перечисленные факторы действуют комплексно, взаимно влияют друг на друга, притом нередко в разных направлениях (одни уменьшают $v_{ф\,min}$, другие повышают). Теоретически учесть это влияние при решении задачи о нахождении $v_{ф\,min}$ сложно, и поэтому на практике $v_{ф\,min}$ определяют по эмпирическим зависимостям.

С точки зрения гидродинамических особенностей процесса заполнения, все отливки в зависимости от их положения в форме и способа подвода расплава к ней можно разделить на две группы. К первой группе относят отливки, заливаемые (преимуществен-

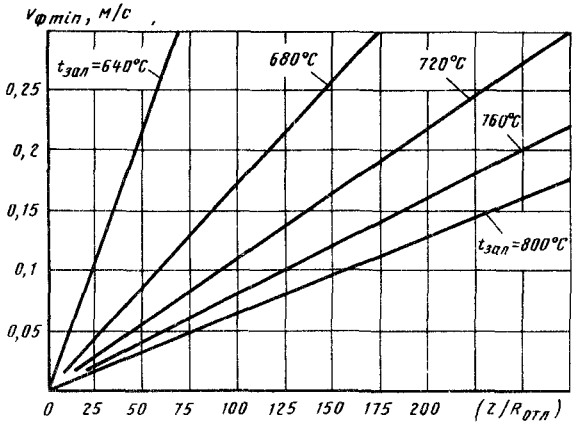


Рис. 19. Зависимость минимально допустимой скорости течения расплава в песчаной форме $v_{\Phi\ min}$ от относительной длины отливки $(Z/R_{отл})$

но в песчаные формы) в горизонтальном положении (плиты, панели, бруски и т. п.), заполнение которых практически происходит с постоянной скоростью течения металла в форме, так как их высота значительно меньше высоты напора.

Ко второй группе относят отливки, заливаемые в вертикальном или наклонном положении. Заполнение отливок этой группы, за исключением заливки сверху, происходит при переменной скорости подъема расплава в форме, так как их высота в положении при заливке соизмерима с высотой напора.

Расчет $v_{\Phi\ min}$ для отливок первой группы можно выполнить по графику (рис. 19), построенному на основе известной зависимости:

$$v_{\Phi\ min} = \frac{Z\beta}{R_{отл} c \rho_c \ln \dfrac{t_{зал} - t_\Phi}{t_{см} - t_\Phi}}, \qquad (4)$$

где Z — путь, пройденный потоком от входного сечения до рассматриваемого (опасного) сечения отливки или до слияния с другим встречным потоком, определяемым по рис. 20; β — коэффициент теплоотдачи от поверхности металла к форме, Вт/(м².°С); $R_{отл}$ — приведенный размер отливки, равный $\delta_{отл}/2$; c — удельная теплоемкость расплава, Дж/(кг·°С); ρ_c — плотность расплава, кг/м³; t_Φ — температура формы, °С; $t_{зал}$ — температура заливки сплава, °С; $t_{см}$ — температура смыкания потоков, °С.

Расчет $v_{\Phi\ min}$ для отливок второй группы проводят по формуле Галдина

$$v_{\Phi\ min} = 0{,}22 \frac{\sqrt{h_{отл}}}{\delta_{отл} \ln \dfrac{t_{зал}}{380}} \qquad (5)$$

($v_{\Phi\ min}$ — средняя по высоте отливки скорость подъема расплава в форме, см/с; $h_{отл}$ — высота отливки, см; $\delta_{отл}$ — толщина стенки отливки, см)

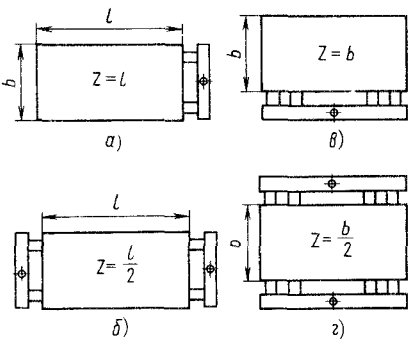


Рис. 20. Схемы для определения Z при различном подводе металла в форму:

а и *б* — подвод металла по ширине отливки соответственно односторонний и двусторонний; *в* и *г* — подвод металла по длине отливки соответственно односторонний и двусторонний; *l* — длина отливки; *b* — ширина отливки

или по упрощенной формуле Лебедева

$$v_{\text{ф. нач}} = \frac{3{,}0 \div 4{,}2}{\delta_{\text{отл}}}, \qquad (6)$$

где $v_{\text{ф. нач}}$ — начальная скорость подъема расплава в форме, см/с; при $h_{\text{отл}}/\delta_{\text{отл}} < 50$ принимают меньшее значение коэффициента в правой части формулы (6), а при $h_{\text{отл}}/\delta_{\text{отл}} > 50$ — его большее значение.

Для отливок второй группы, заливаемых в металлические формы, $v_{\text{ф min}}$ можно найти по формуле Чистякова

$$v_{\text{ф min}} = \left(\frac{h_{\text{отл}}}{\delta_{\text{отл}}}\right)^{0{,}320 \ln \frac{\sqrt{2gh_{\text{отл}}}}{100}}, \qquad (7)$$

где $v_{\text{ф min}}$ — средняя по высоте отливки скорость подъема металла в форме, мм/с; $h_{\text{отл}}$ — высота отливки, мм; g — ускорение свободного падения, мм/с².

На практике для всех отливок с отношением высоты (длины) к толщине стенки $h_{\text{отл}}/\delta_{\text{отл}} \leqslant 125$ рекомендуемая из условия допустимой турбулентности скорость движения металла в форме $v'_{\text{ф. нач}}$ оказывается выше минимально допустимой скорости $v_{\text{ф. min}}$ и является определяющей при расчете литниковых систем (табл. 5). В то же время минимальные значения начальных скоростей подъема, получаемые по гидравлической формуле $v_{\text{ф. нач}} = 4/\delta_{\text{отл}}$, во всех случаях превосходят значения средних скоростей подъема, получаемых по формуле (5) при средней для алюминиевых сплавов температуре заливки (720 °С).

5. Скорость подъема металла в форме (см/с) в зависимости от толщины стенки отливки

$\delta_{\text{отл}}$	$v'_{\text{ф. нач}} = \frac{7{,}8}{\delta_{\text{отл}}}$ [18]	$v_{\text{ф. нач}} = \frac{4{,}0}{\delta_{\text{отл}}}$	По формуле (5) при $h_{\text{отл}} = 50$ см, $t_{\text{зал}} = 720$ °С	$\frac{h_{\text{отл}}}{\delta_{\text{отл}}}$
0,4	19,5	10,0	6,25	125
0,5	15,6	8,0	5,0	100
0,6	13,0	6,6	4,18	83
0,8	9,75	5,0	3,1	62
1,0	7,8	4,0	2,5	50
1,2	6,5	3,3	2,1	42
1,5	5,2	2,7	1,67	33
2,0	3,9	2,0	1,25	25
3,0	2,6	1,3	0,83	16

Шлакоотделение в литниковой системе. Для того чтобы предупредить попадание шлаков (окислы, пена, флюсы) в отливку, необходимо обеспечить их задержание в пределах литниковой системы: в литниковой чаше, стояке и главным образом в коллекторе, который является основным шлакозадерживающим элементом литниковой системы. Для повышения эффективности работы коллектора применяют шлакосборники.

В начальной стадии заливки формы в еще незаполненном коллекторе (рис. 21) устанавливается глубина потока $h_{\text{п}}$, равная:

$$h_{\text{п}} = \frac{v_{\text{к}}^2}{g},$$

где $v_{\text{к}}$ — скорость потока в коллекторе.

Для обеспечения задержания шлаковых частиц на этой стадии заливки высота потока $h_{\text{п}}$ должна превосходить толщину питателей $\delta_{\text{п}}$:

$$\delta_{\text{п}} < \frac{v_{\text{к max}}^2}{g},$$

где $v_{\text{к max}}$ — максимальная скорость потока в коллекторе в начальный период заливки.

Анализ табл. 6 показывает, что уже при относительно невысокой скорости $v_{\text{к}} = 0{,}32$ м/с в коллекторе устанавливается высота потока, равная 10 мм, способная перекрыть вход в питатели толщиной до 10 мм. С увеличением $v_{\text{к}}$ высота потока $h_{\text{п}}$ быстро возрастает, и тогда можно применять питатели большей толщины.

После заполнения коллектора высота потока в нем $h_{\text{п}}$ становится равной высоте коллектора $h_{\text{к}}$. Чтобы задержать шлаковые частицы на этой стадии заполнения формы, необходимо, во-первых, обеспечить всплытие шлаковых частиц на поверхность потока при перемещении расплава на расстояние $L_{\text{п}}$ от стояка до первого

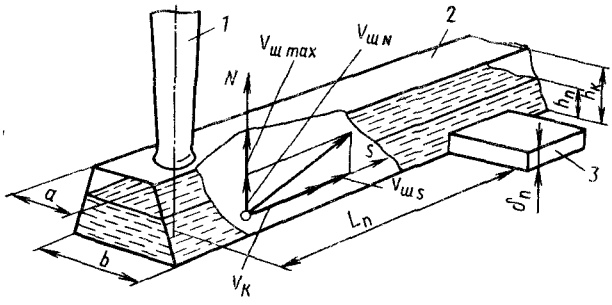


Рис. 21. Высота потока в коллекторе в начальный период заливки и движения шлаковой частицы в горизонтальном потоке расплава:
1 — стояк; *2* — коллектор; *3* — питатель

питателя (см. рис. 21); во-вторых, устранить возможность засасывания шлаковых частиц через питатели.

Расстояние $L_п$ определяют из формулы:

$$L_п \geqslant h_к \frac{1{,}2v_к}{v_{ш\,max}}, \qquad (8)$$

где $v_{ш\,max}$ — предельная скорость всплытия шлаковой частицы в спокойном расплаве;

$$v_{ш\,max} = 2\sqrt{\frac{d_ш}{3C}\,\frac{\rho_м - \rho_ш}{\rho_м}\,g}, \qquad (9)$$

где $d_ш$ — диаметр шлаковой частицы; обычно $d_ш = 0{,}002$ м; C — коэффициент сопротивления, который можно принять равным единице.

Применительно к конкретным сплавам формулу (8) можно упростить,

6. Высота потока $h_п$ в коллекторе

$F_к$, см²	$h_к$, мм	$v_{к\,max}$, м/с	$h_п$, мм	$F_к$, см²	$h_к$, мм	$v_{к\,max}$, м/с	$h_п$, мм
3	18,5	0,98	98	14	39	0,46	22
4	21	0,87	77	16	42	0,43	19
5	23,5	0,78	62	18	45	0,41	17
6	26	0,71	52	20	47	0,38	15
7	28	0,66	44	24	52	0,34	12
8	30	0,62	39	28	56	0,32	10
10	33	0,55	31	56	78	0,23	6
12	36	0,50	25				

рассчитав предварительно $v_{ш\,max}$. Так, для алюминиевых сплавов (при $v_{ш\,max} = 0{,}08$ м/с)

$$L_п \geqslant 14{,}7h_к v_к \qquad (10)$$

и для магниевых (при $v_{ш\,max} = 0{,}069$ м/с)

$$L_п \geqslant 17{,}4h_к v_к. \qquad (11)$$

Чтобы исключить проникновение шлака, собравшегося в верхней части коллектора вследствие всасывающего эффекта питателей (рис. 22), необходимо соблюдать соотношение между $h_к$ и $\delta_п$, установленное экспериментально:

$$\frac{h_к}{\delta_п} \geqslant 3{,}25. \qquad (12)$$

Устранение разрежения (вакуума) в литниковой системе. Разрежение и инжекция воздуха и газов в литниковых каналах может произойти вследствие недостаточного уклона стояка, приводящего к отрыву струи от его стенок, недостаточной высоты литниковой чаши и нерационального ее профиля, приводящих к образованию вихревой воронки, наличия острых кромок при сочленении элементов литниковой системы между собой (стояка с чашей и коллектором, питателей с коллектором и др.), приводящего к отрыву струи от стенок канала.

Необходимое уменьшение площади поперечного сечения стояка по высоте можно определить из уравнения, описывающего идеальный профиль стояка,

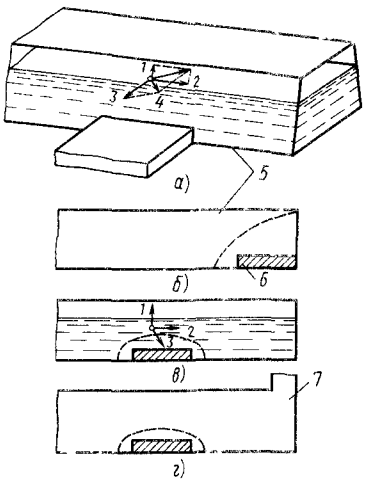


Рис. 22. Область всасывающего эффекта питателя (показана штриховой линией):

а — сложение сил, действующих на частицу шлака в коллекторе, *б* — большая область засоса; питатель расположен вплотную к задней стенке коллектора; *в* — малая область засоса; питатель расположен на некотором расстоянии от задней стенки коллектора; *г* — область засоса, меньшая, чем в случае «*в*»; питатель расположен по схеме «*в*», на коллекторе установлен выпор; *1* — подъемная сила частицы шлака; *2* — уносящая сила потока; *3* — всасывающая сила питателя; *4* — равнодействующая сил *1—3*; *5* — коллектор; *6* — питатель; *7* — выпор

который показан на рис. 23

$$f_{\text{с. в}} \geqslant f_{\text{с. н}} \frac{\mu_{\text{с}}}{\mu_{\text{ч}}} \sqrt{\frac{H}{h_{\text{ч}}}}, \qquad (13)$$

где H — напор над нижним сечением стояка, равный $H = h_{\text{с}} + h_{\text{ч}}$; $h_{\text{ч}}$ — высота уровня металла в чаше; $h_{\text{с}}$ — высота стояка; $\mu_{\text{с}}$, $\mu_{\text{ч}}$ — коэффициенты расхода системы соответственно в нижнем сечении стояка и литниковой чаше.

Как следует из уравнения (13), высота уровня металла в чаше $h_{\text{ч}}$ должна быть тем больше, чем больше высота стояка и чем меньше его конусность.

На практике идеальный профиль стояка заменяют конусным с углом конусности 36—70′, достаточным, чтобы в верхнем сечении стояка давление было не менее атмосферного и не происходили отрыв струи от стенок и подсос воздуха.

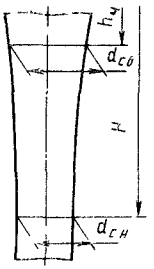


Рис. 23. Идеальный профиль стояка

Образование разреженного пространства и возникновение инжекции воздуха может произойти также вследствие сужения потока, образующегося из-за наличия острых кромок в местах сочленения элементов литниковых систем между собой (стояка с чашей и коллектором, питателей с коллектором и т. д.). При закругленных кромках сужение живого сечения потока уменьшается или полностью отсутствует. Каналы такого типа уменьшают опасность окисления, захвата воздуха и, кроме того, в меньшей степени подвержены разрушению вследствие эрозии формы.

Устранить инжекцию можно также установкой дросселей, которые чаще всего располагают при переходе от стояка к коллектору (см. рис. 7, *о* и *р*) или непосредственно в коллекторе.

Неравномерность действия питателей. Одно из условий правильного функционирования многопитательной литниковой системы — равномерное распределение расхода сплава по питателям. *Для повышения равномерности* действия питателей в горизонтальной многопитательной системе рекомендуется плавно (не ступенькой) уменьшать площадь поперечного сечения коллектора после каждого питателя (рис. 24).

Однако сужение коллектора, особенно у крайних питателей, может привести к увеличению турбулентности потока за счет увеличения скоростей и их пульсаций при переходе

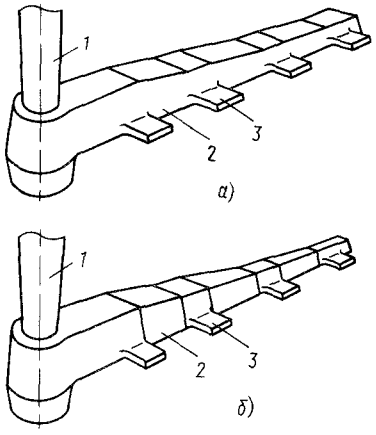


Рис. 24. Схема литниковой системы с суживающимся коллектором:
а — по высоте; *б* — по высоте и ширине; *1* — стояк; *2* — коллектор; *3* — питатели

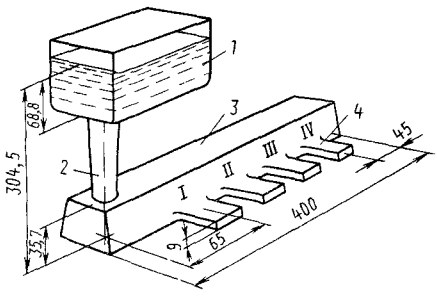


Рис. 25. Схема литниковой системы с уменьшающимися поперечными сечениями питателей:
1 — чаша; *2* — стояк; *3* — коллектор; *4* — питатель

из одной секции коллектора в другую. В таком потоке условия всплытия и задержания шлаковых включений ухудшаются по сравнению с равномерно движущимися потоками. Кроме того, при уменьшении поперечного сечения коллектора за счет его высоты увеличивается опасность засоса шлака питателями. Более равномерный расход металла обеспечивается при последовательном уменьшении площади поперечного сечения питателей, начиная от стояка (рис. 25) (рекомендации Ж. В. Токарева)

Неравномерность работы питателей в некоторых случаях может быть использована для повышения качества заполняемости отливок. Например, литниковую систему с неравномерно работающими питателями (если расход металла через каждый из них можно заранее рассчитать) используют для обеспечения равномерного подъема уровня металла и исключения его перетекания из одной зоны отливки в другую при заливке отливок с неравномерно распределенной по их периметру массой.

Принципы построения и расчет литниковых систем. При расчете и конструировании литниковых систем применительно к литью цветных сплавов стремятся к тому, чтобы литниковая система в максимальной степени обеспечила выполнение указанных ранее (с. 46) пяти функций.

Четвертая функция, как правило, обеспечивается выбором чаши надлежащей конструкции и необходимой высоты, а также приданием литниковым каналам соответствующих закруглений в местах их сочленений и конусности стояку. Для этого вносят дополнительные коррективы в уже установленные размеры поперечных сечений элементов литниковой системы.

Последняя функция обеспечивается выбором типа литниковой системы и места подвода расплава в форму.

Первые три функции являются взаимосвязанными и выполняются параллельным регулированием скорости потоков расплава в литниковых каналах и рабочей полости формы.

Для обеспечения заполняемости формы скорость течения расплава в форме $v_ф$ не должна быть меньше минимально допустимой $v_{ф\,min}$ при данных условиях литья. Для обеспечения режима течения с допустимой турбулентностью скорости течения расплава в форме, стояке, коллекторе и питателях, как это следует из уравнения (3), не должны быть больше максимально допустимых значений этих скоростей для данного канала формы — $v_{ф\,max}$, стояка — $v_{с\,max}$, коллектора — $v_{к\,max}$ и питателей — $v_{п\,max}$.

Следовательно, значение скорости течения расплава в форме $v_ф$ может быть определено из следующих неравенств:

$$v_{ф\ max} \geqslant v_ф \geqslant v_{ф\ min} \qquad (14)$$

или

$$Q_{ф\ max} \geqslant Q_ф \geqslant Q_{ф\ min},$$

так как сечение формы задано.

Для задержания шлака скорость течения расплава в коллекторе не должна превышать значения некоторой предельной скорости $v_{к.\,пр}$ течения для данного канала, определяемой из уравнения (8). При этой скорости шлакоотделение еще возможно.

Таким образом, значения скоростей течения расплава в каналах литниковой системы, одновременно удовлетворяющие требованиям ламинарности потока и задержанию шлака, находят из условий:

$$v_с \leqslant v_{с\ max} = \frac{Re_с \nu}{4R_с} \leqslant \frac{65}{R_с}; \qquad (15)$$

$$\left.\begin{aligned} v_к \leqslant v_{к\ max} = \frac{Re_к \nu}{4R_к} \leqslant \frac{42}{R_к}; \\ v_к < v_{к.\,пр}; \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

$$v_п < v_{п\ max} = \frac{Re_п \nu}{4R_п} \leqslant \frac{12}{R_п}. \qquad (17)$$

Выполнение условий (14)—(17) является критерием надежности любых методов расчета литниковых систем.

Таким образом, требования, предъявляемые к литниковым системам для легких сплавов при проектировании, следующие:

скорость течения расплава в рабочей полости формы должна обеспечивать хорошую заполняемость формы при минимально возможной для конкретной отливки турбулентности потока;

форму и размеры литниковых каналов, а также их соединение необходимо выбирать такими, чтобы обеспечивались последовательное снижение турбулентности потока в направлении от стояка к рабочей полости формы и задержание шлаковых включений;

поскольку поперечное сечение и марка сплава отливки задаются, управлять турбулентностью потока в рабочей полости формы можно главным образом регулированием скорости движения металла в ней, т. е. изменением расхода ($Q_ф = v_ф F_ф$ и $F_ф = \text{const}$); в меньшей степени изменением температуры заливки сплава, от которой зависит его кинематическая вязкость; значит, выбирать расход $Q_ф$ расплава через рабочую полость формы необходимо с учетом конфигурации отливки;

регулировать режимы течения металла в литниковых каналах можно изменением как скорости потока, так и величины гидравлического радиуса, т. е. формы и размеров поперечных сечений каналов, поскольку эти параметры не заданы и определяются в ходе проектирования самой литниковой системы;

поскольку заполняемость формы и ламинарный режим течения в ней обеспечиваются изменением расхода в противоположных направлениях для улучшения заполняемости необходимо повышать, а для обеспечения ламинарности, наоборот, — понижать расход $Q_ф$, то при выборе величины расхода в ряде случаев допускается применение средств, повышающих заполняемость формы, или повышенная турбулентность;

при возможности предусматривать литниковые каналы меньших размеров, а конструкцию системы упрощать, чтобы снизить расход сплава и трудовые затраты на изготовление отливки.

Поскольку для выполнения условий (14)—(17) необходимо последовательное снижение скоростей потока расплава, то поперечные сечения каналов литниковых систем должны быть также последовательно расширяющимися в направлении от стояка к питателям, т. е. для площадей поперечных сечений стояка, коллектора и питателей должно выполняться неравенство $F_с < F_к < F_п$.

Расчет литниковой системы состоит в отыскании площадей поперечных сечений и линейных размеров ее основных элементов: стояка, коллектора и питателей (а для вертикально-щелевой системы дополнительно колодцев и щелей). Причем сначала рассчитывают наименьшее, т. е. регулирующее расход сечение литниковой системы (обычно сечение стояка), а затем исходя из принятых соотношений

$F_с : F_к : F_п$ определяют площади суммарных поперечных сечений остальных элементов.

Наименьшее поперечное сечение литниковой системы независимо от принципов ее построения рассчитывают по одной и той же формуле:

$$F_с = \frac{Q_ф}{v_с}, \qquad (18)$$

где $F_с$ — искомая площадь поперечного сечения стояков; $Q_ф$ — объемный расход расплава; $v_с$ — фактическая скорость течения расплава в стояке;

$$v_с = \mu\sqrt{2gH_р},$$

где $H_р$ — расчетный напор.

Таким образом, для расчета $F_с$ по уравнению (18) необходимо определить расход расплава $Q_ф$ и коэффициент расхода системы μ, так как $H_р$ определяется из чертежа отливки. Значения $Q_ф$ и $v_с$ выбирают, исходя из особенностей заливаемого сплава и конкретных условий литья.

Для цветного литья наиболее часто применяют методы расчета, при которых $Q_ф$ определяют либо из условия обеспечения минимально допустимой турбулентности потока металла в форме (первый метод), либо из условия обеспечения заполняемости формы (второй метод).

Первый метод расчета. В этом случае максимально допустимый (начальный) расход (см³/с) через рабочую полость формы, а следовательно, и литниковую систему находят из выражения

$$Q_ф = v_{ф\,max} F_ф = \frac{\mathrm{Re}_ф \nu}{4R_ф} = \frac{(1{,}2 \div 3{,}9) F_ф}{R_ф} = kP_ф, \qquad (19)$$

где $F_ф$, $R_ф$ и $P_ф$ — соответственно площадь поперечного сечения формы (см²), гидравлический радиус и периметр этого сечения (см).

Полученный расход $Q_ф$ и фактическую (расчетную) скорость потока в стояке $(v_с = \mu\sqrt{2gh_с})$, образующуюся в первоначальный момент заливки, для выбранной конструкции литниковой системы подставляют в уравнение (18) и находят площадь расчетного сечения стояков.

Второй метод расчета. В этом случае по формулам (4)—(7), графику (рис. 19) или экспериментальным данным находят среднюю минимально допустимую скорость подъема металла в форме $v_{ф\,min}$, при которой в отливке еще не образуются неслитины и недоливы, а затем вычисляют минимально допустимый расход:

$$Q_{ф\,min} = F_ф v_{ф\,min}, \qquad (20)$$

где $F_ф$ — площадь поперечного сечения рабочей полости формы.

Площадь поперечного сечения стояков

$$F_с = \frac{Q_{ф\,min}}{v_с}.$$

Скорость течения сплава в стояках регулируют в допустимых пределах за счет изменений гидравлического сопротивления литниковой системы.

Значение $F_ф$ рассчитывают в зависимости от конкретных размеров отливки, толщины ее стенки и конфигурации. Так, для отливок, у которых опасность образования неслитин и недоливов невелика (компактные толстостенные отливки или отливки с постоянными по высоте толщинами стенок и площадью поперечного сечения), в расчет берут среднюю по высоте площадь поперечного сечения формы

$$F_{ф.\,ср} = \frac{M}{\rho_с h_{отл}},$$

где M — масса отливки, кг; $\rho_с$ — плотность сплава, кг/м³; $h_{отл}$ — высота отливки, м. Тогда расход будет равен

$$Q_{ф\,min} = \frac{M}{\rho_с h_{отл}} v_{ф\,min}. \qquad (21)$$

Для отливок с повышенной склонностью к неслитинам и недоливам (тонкостенные отливки сложной конфигурации с развитой поверхностью, а также отливки, имеющие вертикально и горизонтально расположенные стенки и т. п.) расчет выполняют по площади наиболее опасного (где наибольшая вероятность образования неслитин и недоливов) сечения формы.

Опасное сечение формы определяют по чертежу отливки и положению ее при заливке. В этом случае

$$Q_{ф\,min} = F_{ф.\,оп} v_{ф\,min}. \qquad (22)$$

Опасными по заполняемости, как правило, являются: максимальное горизонтальное сечение формы, сечение с минимальной толщиной стенки или сечение, в котором действует минимальный напор металла. Поэтому при расчете фактической скорости подъема металла в форме (с целью сравнения ее с $v_{\Phi\,min}$) на уровне ее опасного сечения необходимо исходить из фактического напора, действующего на уровне этого же сечения.

Далее расчет литниковых систем может быть выполнен в той же последовательности, в какой он выполняется при первом методе расчета. Поскольку второй метод расчета обеспечивает минимальную скорость подъема расплава в форме, ее заполнение будет проходить потоками с минимальной турбулентностью. Поэтому рассчитанные таким образом литниковые системы будут удовлетворять одному из основных, приведенных ранее условий, а именно, условию (14).

Площади сечения стояков, рассчитанные этим методом, как правило, получаются несколько меньшими (в крайнем случае они могут быть равны, но не больше), чем аналогичные площади, рассчитанные для тех же отливок, по предыдущему методу.

Разновидностью изложенного метода расчета является расчет расхода, в котором под $v_{\Phi\,min}$ понимают начальную скорость подъема сплава в форме

$$Q_{\Phi.нач} = F_{\Phi.\,ср} v_{\Phi.\,нач}, \qquad (23)$$

где $v_{\Phi.\,нач}$ — начальная скорость подъема сплава в форме, в большинстве случаев определяемая по формуле (6).

В этом случае расход будет равен

$$Q_{\Phi.\,нач} = \frac{(3 \div 4{,}2)\,M}{\rho_c h_{отл} \delta_{отл}}, \qquad (24)$$

а площадь сечения стояков

$$F_c = \frac{(3 \div 4{,}2)\,M}{\rho_c h_{отл} \delta_{отл} v_c}. \qquad (25)$$

Так как $Q_{\Phi.\,нач} > Q_{\Phi\,min}$ ($v_{\Phi.\,нач} > v_{\Phi\,min}$), то площадь сечения стояков, найденная из выражения $F_c = Q_{\Phi.\,нач}/v_c$, будет больше аналогичной площади, найденной из выражения $F_c = Q_{\Phi\,min}/v_c$.

Этот метод расчета применяют в следующих случаях:

заполняемость формы трудно обеспечить (например, при заливке тонкостенных крупногабаритных отливок с развитой поверхностью: панели, крышки, обечайки, кожухи и др.);

условия литья исключают появление других (кроме неслитин и недоливов) видов дефектов: пены, шлаков, оксидов и т. п.

Выбор типа и конструкции литниковых систем. Положение отливки в форме (т. е. ее верх и низ при заливке) и разъемы формы выбирают из условий получения качественной отливки, технических возможностей данного литейного цеха, экономической целесообразности. Часто эти требования одновременно выполнить трудно. Например, для сложной отливки ответственного назначения достаточно удовлетворения первого требования.

Если же отливка неответственная и допускается заделка дефектов на ее литой или обработанной резанием поверхности, то исходят главным образом из экономических соображений: выбирают такое положение отливки в форме, при котором обеспечиваются минимальные расходы формовочных и стержневых материалов, металла на литниковую систему, прибыли и трудовые затраты.

При серийном производстве отливок в том случае, если позволяют сроки освоения, проводят опробование наиболее простого, но технически обоснованного варианта положения отливки в форме, а затем уже осуществляют его корректировку.

Для лучшего выполнения литниковой системой своих функций и размещения ее элементов положение отливки в форме и разъема формы выбирают исходя из следующих соображений:

обрабатываемые поверхности отливок (особенно отливок типа плит и панелей) располагают внизу, так как сплав в нижних слоях более плотный;

массивные тепловые узлы отливок, кристаллизация которых заканчивается в последнюю очередь, располагают вверху; при таком расположении этих узлов легче осуществить их направленное, последовательное затвердева-

ние и подпитку их прибылями, а также избежать усадочных дефектов;

развитые плоские поверхности и тонкостенные части крупногабаритных отливок располагают в форме вертикально или наклонно, что улучшает их заполняемость.

В серийном производстве для выбора типа литниковой системы часто используют номограммы, которые строят с учетом высоты, массы, средней толщины стенки и типа отливки (колеса, рамы, блоки, обечайки и др.).

Выбор способа и места подвода расплава в форму оказывает существенное влияние на спокойное заполнение рабочей полости формы без вспенивания, разбрызгивания в ней расплава, разрушения формы и стержней; распределение температур по периметру отливки и образование перегрева в отдельных частях; образование проточных и застойных зон, являющихся причиной местного перегрева, а также появления дефектов типа неслитин и спаев.

При одной и той же конструкции литниковой системы выбор места и способ подвода расплава к рабочей полости формы влияют на качество отливки.

Основные рекомендации по выбору способа и места подвода расплава к отливке следующие.

1. Во избежание перегрева отдельных участков необходимо применять рассредоточенный подвод расплава в полость формы, располагая питатели или вертикальные щели по возможности равномерно по всему периметру отливки. С этой же целью расплав подводят не в массивные узлы, встречающиеся по периметру отливки, а в более тонкие ее сечения.

2. Для слияния отдельных струй потока, выходящих из питателей, и с целью предупреждения образования неслитин и других подобных дефектов расстояние между осями питателей $l_п$ находят из выражения

$$l_п = \frac{P}{n} \leqslant l_р,$$

где P — наружный периметр отливки в месте подвода расплава или развернутая длина при незамкнутом контуре; n — число питателей; $l_р$ — максимальный радиус действия питателей, при котором еще возможно слияние отдельных струй потока (определяется по опытным данным или расчетом).

3. Для уменьшения разбрызгивания расплава и разрушения формы используют способы подвода, максимально учитывающие особенности конфигурации отливки в месте подвода к ней расплава. Например, при наличии в форме наклонных поверхностей предпочтительнее направлять струю расплава из питателей на нисходящую (рис. 26, *а*), а не на восхо-

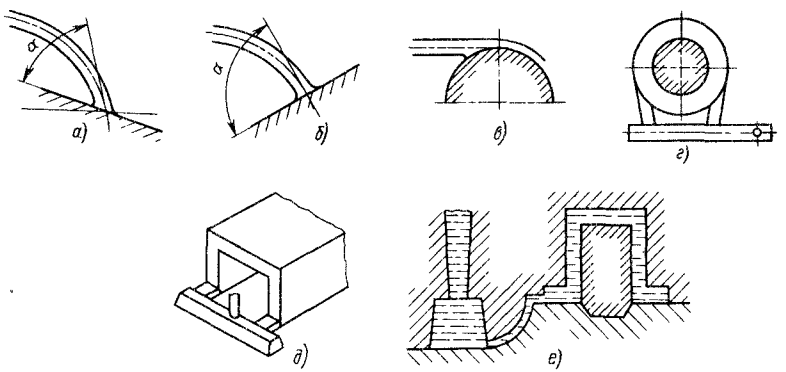


Рис. 26. Различные способы подвода струи расплава в форму:
а — на нисходящую поверхность; *б* — на восходящую поверхность (не рекомендуется); *в* — по касательной к стержню; *г* — по касательной к форме; *д* — вдоль стенок формы; *е* — через наклонные питатели нижней литниковой системы

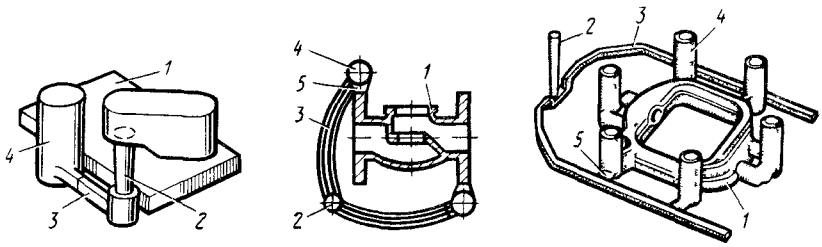


Рис. 27. Способы подвода расплава через отводные прибыли, установленные: *а* — над коллектором; *б* и *в* — над питателями; *а* — к плите; *б* — к тройнику; *в* — к корпусу; *1* — отливка; *2* — стояк; *3* — коллектор; *4* — прибыль; *5* — питатель

дящую (рис. 26, *б*) поверхность, так как это уменьшает угол α встречи струи с поверхностью, а значит и силу нормального давления на форму или стержень, которая имеет минимальное значение при $\alpha = 0$. При подводе расплава в полости с круглыми стержнями или выступами формы, когда имеет место натекание на стержень или форму, расплав необходимо направить по касательной к ним (рис. 26, *в*, *г*), что резко уменьшает силу удара струи и обеспечивает сплошное обтекание стержня цилиндрической или шаровой формы. В случае прямоугольных отливок необходимо стремиться направить струю расплава вдоль стенок (рис. 26, *д*), а не перпендикулярно им.

4. Во избежание образования открытых завихрений в начальный момент заполнения формы расплав подводят к форме через наклонные питатели. Этого легче достигнуть при нижней литниковой системе, когда питатели подводят (рис. 26, *е*) в самый низ формы, и она заполняется по мере подъема расплава в коллекторе.

5. Для питания отдельных частей отливки, особенно находящихся в ее нижней части, применяют подвод расплава в форму через отводные прибыли, устанавливаемые над коллектором или питателями (рис. 27). Недостатком отводных прибылей обычной конструкции является их невысокая эффективность при получении высоких отливок Этот недостаток устранен в литниковой системе, прибыли которой разделены перегородками на две части (рис. 28). При заполнении формы расплав все время перетекает через верх перегородки, благодаря чему прибыли заполняются в последнюю очередь, т. е. более горячим металлом.

Выбор литниковых чаш. Литниковая чаша обеспечивает задержание крупных неметаллических включений, присутствующих в готовом расплаве, а также образующуюся при заливке пену; создает положительное давление расплава в верхнем сечении стояка; гасит динамический напор струи и обеспечивает спокойный ввод расплава в стояк.

Для заливки цветных сплавов в зависимости от массы заливаемого в форму расплава применяют литниковые воронки или литниковые чаши. Литниковые воронки используют для небольших по массе отливок при расходе Q расплава (по алюминию) не более 1,0—1,5 кг/с. Воронки подраз-

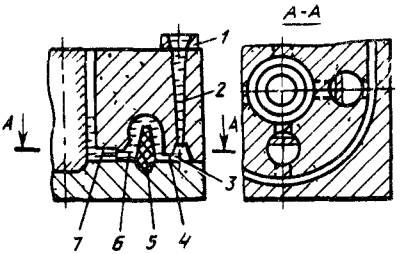


Рис. 28. Литниковая система с подводом расплава к отливке через прибыль, снабженную перегородкой:
1 — воронка; *2* — стояк; *3* — коллектор; *4* — питатели; *5* — перегородка; *6* — прибыль; *7* — отливка

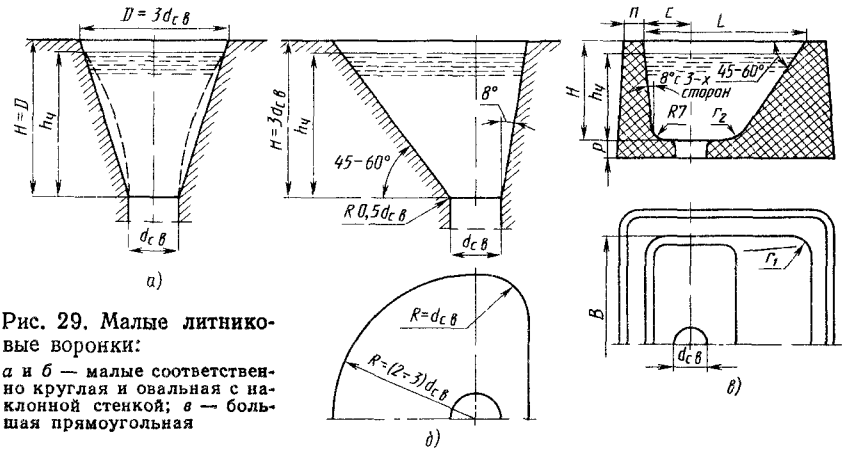


Рис. 29. Малые литниковые воронки:

а и *б* — малые соответственно круглая и овальная с наклонной стенкой; *в* — большая прямоугольная

деляют на малые ($Q = 0{,}5 \div 1{,}0$ кг/с) и большие ($Q = 1{,}0 \div 1{,}5$ кг/с).

Малые воронки (рис. 29) широко распространены при литье в кокиль мелких и средних отливок. В этом случае коническую воронку выполняют непосредственно в металлической форме. Модели круглых воронок должны охватывать контур свободно падающей струи (теоретический контур показан на рис. 29, *а* пунктирной линией). При этом условии давление расплава, оказываемое на стенки воронки, всегда *больше* атмосферного, что исключает подсос воздуха в верхнем сечении стояка. Более рациональной является воронка овальной формы (рис. 29, *б*). Размеры воронки принимают исходя из соотношений между диаметром стояка в верхнем сечении $d_{с.в}$ и основными параметрами воронки, приведенными на рисунке.

Большие воронки используют в формах для средних отливок. Размеры применяемых при литье цветных сплавов больших воронок (рис. 29, *в*) приведены в табл. 7.

Диаметр выходного отверстия у всех типов воронок во всех случаях должен соответствовать диаметру $d_{с.в}$ стояка в верхнем сечении.

Литниковые чаши применяют, как правило, при расходе расплава (по алюминию) более 1,5 кг/с. Их подразделяют на доливаемые (обычные) и мерные. Объем доливаемых чаш и воронок выбирают исходя из условия:

$$V = kQ. \qquad (26)$$

Для небольших по массе отливок коэффициент $k = 1{,}5 \div 2{,}0$, для средних $k = 2 \div 5$ и для крупных $k = 5 \div 10$.

Объем мерных чаш принимают равным (или несколько большим) объему отливки (с прибылями и литниковой системой).

Наиболее часто при литье цветных сплавов используют чаши с порогом, с порогом и перегородкой и двумя порогами и двумя перегородками.

Чаши с порогом (рис. 30, *а*; табл. 8) снабжены двумя *вертикальными* ребрами, которые препятствуют циркуляции расплава над стояком и затрудняют образование вихревой воронки. Порог ограничивает зону падения струи металла, способствует перемещению шлака вверх, на зеркало рас-

7. Размеры больших воронок, мм

Номер воронки	H	L	B	c	n	p	r_1	r_2
1	75	125	80	35		15		15
2	90	150	100	40	15	15	10	15
3	110	170	120	40		20		20

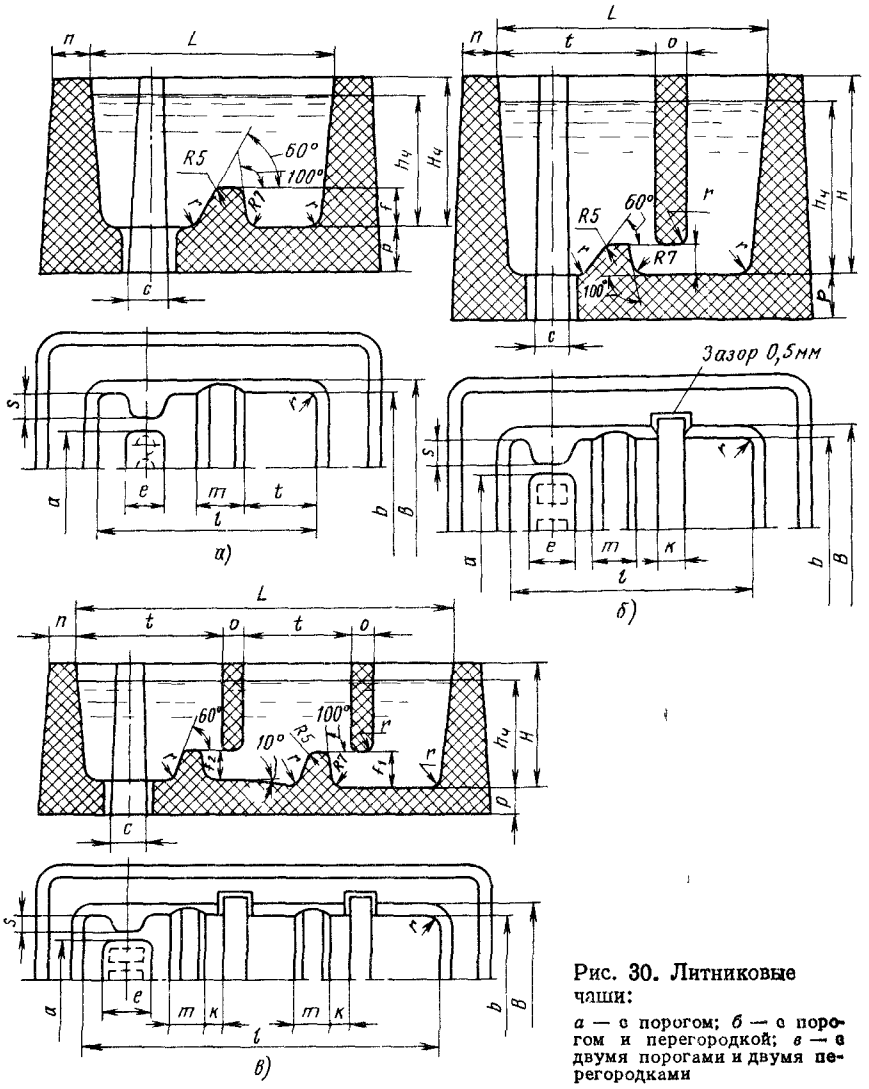


Рис. 30. Литниковые чаши:

а — с порогом; *б* — с порогом и перегородкой; *в* — с двумя порогами и двумя перегородками

плава и препятствует падению его в стояк сверху.

Чаши с порогом и перегородкой (рис. 30, *б*; табл. 9) предназначены для крупных отливок. Перегородка разделяет чашу на приемную и расходную секции, уменьшая турбулентное перемешивание металла в последней. При этом обеспечивается лучшее шлакоотделение и более спокойный ввод расплава в стояк.

Чаши с двумя порогами и двумя перегородками (рис. 30, *в*; табл. 10) применяют для заливки более крупных отливок ответственного назначения, особенно когда носок ковша не удается приблизить к форме на минимальное безопасное расстояние и возникает

8. Размеры чаш с порогом, мм

Номер чаши	$H_ч$	L	l	B	b	a	c	e	f	m	n	p	t	s	r
1	100	160	140	110	90	50	25	30	20	30	25	30	50	15	10
2	120	180	160	120	100	55	25	30	20	30	25	30	70	15	10
3	140	200	180	140	120	70	30	35	25	35	30	35	80	15	10
4	160	220	200	160	140	90	30	35	30	35	30	35	100	20	10
5	180	240	220	180	160	110	35	40	35	40	35	40	110	20	15
6	200	260	240	200	180	130	35	40	35	40	35	40	130	20	15

9. Размеры чаш с порогом и перегородкой, мм

Номер чаши	$H_ч$	L	l	B	b	a	c	e	f	k	m	n	o	p	s	t	r
1	160	220	200	160	140	90	30	35	30	20	35	30	25	35		130	10
2	180	240	220	180	160	100	35	40	35	20	35	35	25	40		130	15
3	200	260	240	200	180	120	35	40	35	20	40	35	30	40	20	135	15
4	240	300	280	200	180	120	35	40	35	20	40	35	35	40		150	15

10. Размеры чаш с двумя порогами и двумя перегородками, мм

Номер чаши	$H_ч$	L	l	B	b	a	c	e	f_1	f_2	k	m	n	o	p	s	t	r
1	160			160	140	90	30	35				35	30	25	35			10
2	200	400	380	200	180	120	35	40	35	25	20	40	35	30	40	20	130	15
3	240			200	180	120	35	40				40	35	30	40			15

опасность разбрызгивания и вспенивания расплава.

При необходимости описанные чаши и воронки делают бо́льших размеров, чем предусмотрены в табл. 10.

Основанием для выбора конструкции литниковой чаши или воронки служит масса отливки (расход расплава Q), предъявляемые к ней требования, а также технические возможности литейного цеха. Объем литниковой чаши должен быть достаточным для поддержания в течение всего времени заливки постоянного уровня расплава в ней при данном расходе.

Высоту литниковой чаши выбирают из условия обеспечения положительного давления металла в верхнем сечении стояка в зависимости от его высоты. При этом за расчетную принимают высоту уровня расплава в чаше $h_ч$ (см. рис. 29 и 30), которую во избежание разбрызгивания расплава устанавливают примерно на 10—20 мм меньше высоты полости литниковой чаши.

Проектирование литниковых систем для заливки песчаных форм. Чтобы литниковая система могла выполнить свои функции, размеры ее основных элементов следует рассчитывать исходя из следующих условий: размеры литниковых чаш — из условия предотвращения засоса шлака через верх-

нее сечение стояка и обеспечения положительного давления расплава в нем; размеры нижнего поперечного сечения стояков — из условия обеспечения протекания расплава в них и рабочей полости формы с допустимой турбулентностью, а также заполняемости формы; размеры верхнего сечения стояков — из условия обеспечения положительного давления расплава на их стенки; размеры коллектора и питателей — из условий обеспечения протекания расплава в них с допустимой турбулентностью и шлакозадержания.

Рабочую полость формы рассчитывают на ламинарность потока и подвергают поверочному расчету на заполняемость.

В соответствии с этим выполняют следующие расчеты:

суммарных площадей поперечных сечений основных элементов литниковой системы: стояков, коллекторов и питателей, а для вертикально-щелевой системы — дополнительно вертикальных колодцев и щелей;

числа и размеров названных выше элементов;

расстояния от стояка до первого питателя;

размеров литниковых чаш или воронок.

В расширяющихся литниковых системах основным сечением, лимитирующим расход расплава через всю систему, является нижнее сечение стояков $F_{\text{с}}$. Поэтому расчет элементов литниковой системы начинают с определения $F_{\text{с}}$ по формуле (18).

Последовательность определения исходных данных для расчета. На основании чертежа отливки и в зависимости от ее габаритных размеров, массы, конфигурации, средней толщины стенки и предъявляемых к отливке требований определяют положение отливки в форме, а также разъем формы, тип литниковой системы, место подвода питателей к рабочей полости формы и температуру заливки сплава.

Для выбранного типа (нижняя, верхняя и т. д.) литниковой системы выбирают типовую схему ее конструкции (см. табл. 1) или, при необходимости, схему конструкции, отличную от типовой. При этом определяют длину и конфигурацию коллектора, месторасположение на нем стояков, число питателей, соотношение суммарных площадей поперечных сечений стояка, коллектора и питателей ($F_{\text{с}} : F_{\text{к}} : F_{\text{п}}$), а также диаметр стояка в его нижнем сечении $d_{\text{с. н}}$ (или размер $a \times b$ для прямоугольных стояков).

Предварительный выбор соотношения $F_{\text{с}} : F_{\text{к}} : F_{\text{п}}$ и диаметра стояка $d_{\text{с. н}}$ в зависимости от массы и высоты отливки проводят по опытным данным (табл. 11 и 12).

Отливки в зависимости от их высоты условно разбиты на четыре группы: высота (мм) отливок группы I до 150; группы II — св. 150 до 450; группы III — св. 450 до 750; группы IV — св. 750 мм. При одинаковой массе

11. Рекомендуемые соотношения площадей сечения стояка, коллектора и питателя

Масса отливок без прибылей (свыше—до), кг		$F_{\text{с}}: F_{\text{к}}: F_{\text{п}}$ для группы отливок			
алюминиевых	магниевых	I	II	III	IV
До 5	До 3,5	1 : 2 : 2	1 : 2 : 3	—	—
5—10	3,5—7	1 : 2 : 2	1 : 2 : 3	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3
10—20	7—14	1 : 2 : 3	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3	1 : 3 : 4
20—40	14—28	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3	1 : 3 : 4	1 : 4 : 4
40—70	28—50	1 : 2 : 4	1 : 3 : 4	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5
70—150	50—100	1 : 3 : 4	1 : 3 : 5	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5
Св. 150	Св. 100	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5	1 : 4 : 6	и др.

12. Рекомендуемые размеры стояков в нижнем сечении в зависимости от высоты и массы отливки

Высота $h_{отл}$ отливки с прибылями, мм, не более	Масса M отливки с прибылями, кг	Диаметр стояка $d_{с.н}$, мм	$a \times b^*$, мм	$f_{с.н}$, см²
200	До 10	10	13×6	0,78
1000	Любая	12	16×7	1,13
850	Св. 20	14	19×8	1,54
750		16	20×10	2,01
650		18	21×12	2,54
550		20	26×12	3,14
400		22	29×13	3,8
350	Св. 50	24	30×15	4,52
300		26	31×17	5,3
250	Св. 100	28	32×19	6,2
200		30	32×22	7,07

* См. рис. 33.

Примечание. $f_{с.н}$ — площадь поперечного сечения круглого стояка.

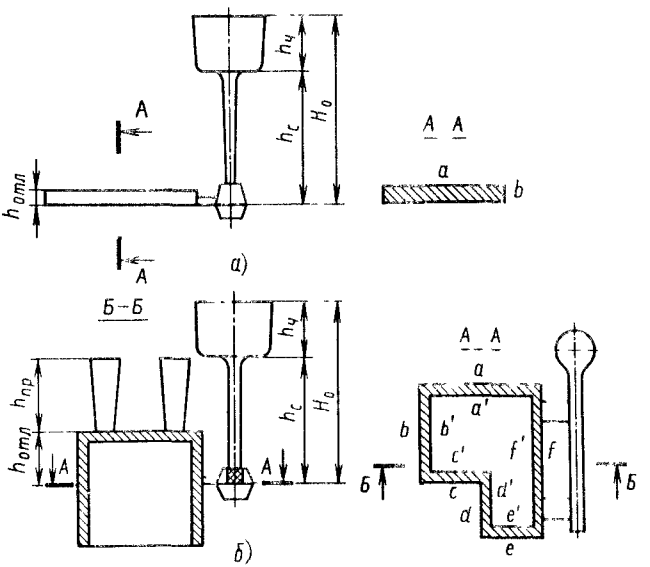
отливок более расширяющуюся систему (большие отношения $F_к/F_с$ и $F_п/F_к$) применяют для более высоких отливок, менее расширяющуюся — для отливок меньшей высоты.

На основании чертежа отливки, выбранного положения ее в форме при заливке и установленного способа подвода расплава определяют технологические группу и подгруппу сложности отливки, используя их классификацию (табл. 13).

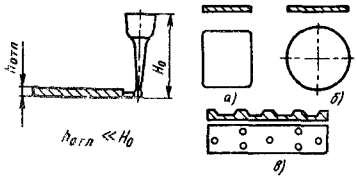
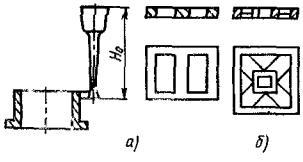
Подразделение отливок на технологические группы и подгруппы обусловлено тем, что характер потока в форме во многом зависит от условий литья, которые необходимо учесть при выборе гидродинамических параметров потока в форме и, прежде всего, двух его важнейших характеристик, от которых зависит качество литья: максимально допустимого расхода $Q_ф$ и минимально допустимой скорости подъема металла в форме $v_{ф\,min}$.

Используя чертеж отливки и схему ее расположения в форме (рис. 31),

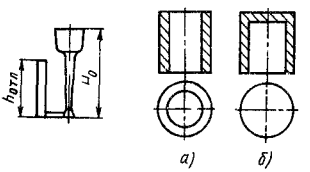
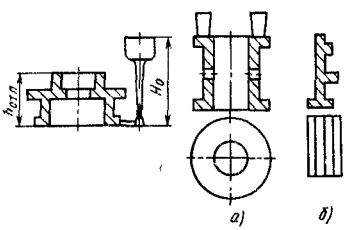
Рис. 31. Схема положения отливки в форме (к расчету H_0, $h_с$, $P_ф$, $F_ф$, $v_ф$): *а* — заливка при постоянном напоре (I группа отливок, см. табл. 13); *б* — заливка при переменном напоре (II группа отливок)



13. Классификация отливок по сложности их конфигурации и способу заливки

Технологическая группа отливок	Способ подвода расплава в форму; расположение отливки в форме	Технологическая подгруппа отливок	Типичные отливки	Принципиальная схема заливки и эскиз отливки
I. Отливки, получаемые при постоянной скорости течения расплава в форме	Все отливки с верхним подводом расплава, а также отливки небольшой высоты с нижним подводом, заливаемые горизонтально; высота гидростатического напора в процессе заливки изменяется незначительно: $H_0 = \text{const}$; $v_\Phi = \text{const}$; $h_{отл} \ll H_0$	Iа. Простой конфигурации	Плоские типов плит, панелей, крышек, дисков и т. п.; не имеющие фланцев, бортиков, приливов и других выступающих частей, способствующих изменению направления потока расплава и образованию в нем местных возмущений	
		Iб. Сложной конфигурации	Типа крышек, каркасов, рамок и т. п.; не относящиеся к подгруппе Iа; корпусные с верхним подводом расплава (при заливке могут возникать местные возмущения потока)	

Продолжение табл. 13

Технологическая группа отливок	Способ подвода расплава в форму; расположение отливок в форме	Технологическая подгруппа отливок	Типичные отливки	Принципиальная схема заливки и эскиз отливки
II. Отливки, получаемые при переменной скорости течения расплава в форме	Все отливки с вертикально-щелевым и нижним подводом расплава, не относящиеся к I группе, т. е. заливаемые вертикально, когда высота напора в процессе заливки существенно изменяется: $H_0 \neq \text{const}$; $v_ф \neq \text{const}$; $h_{отл}$ соизмерима с H_0	IIа. Простой конфигурации	Типа плит, втулок, цилиндров, не имеющие фланцев, бортиков, приливов, карманов, ребер и других выступающих частей, способствующих изменению направления потока расплава и образованию в нем местных возмущений	
		IIб. Сложной конфигурации	Коробки, барабаны, каркасы, тройники, скафандры и тому подобные отливки, при заливке которых могут возникать местные возмущения потока	

Примечание. На рисунках *а*, *б* и *в* — разновидности отливок.

определяют параметры формы и отливки:

первоначальный напор

$$H_0 = h_ч + h_c, \qquad (27)$$

где $h_ч$ — высота уровня расплава в литниковой чаше, принимаемая в зависимости от высоты полости чаши $H_ч$; зависимость между высотой чаши и высотой стояка (размеры, см):

$H_ч$	8	10	12	14
h_c	До 15	Св. 15 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 45

$H_ч$	16	18	20
h_c	Св. 45 до 60	Св. 60 до 75	Св. 75 до 90

$H_ч$	22	24
h_c	Св. 90 до 120	Св. 120 до 150

средний расчетный напор, определяемый только для отливок II группы (рис. 31, *б*):

$$H_р = H_0 - \frac{h_{отл}}{2}, \qquad (28)$$

где $h_{отл}$ — высота отливки, считая от оси питателей:

площадь $F_ф$ наибольшего сечения рабочей полости формы, расположенного на уровне подвода расплава к ней или выше этого уровня (т. е. сечения *А—А* на рис. 31);

полный периметр сечения рабочей полости формы $P_ф$ на уровне подвода расплава, содержащий наружные и внутренние контуры всех попадающих в сечение полостей формы (рис. 31, *б*)

$$P_ф = a + a' + \ldots + f + f'; \qquad (29)$$

преобладающую толщину стенки отливки $\delta_{отл}$;

максимальную длину потока расплава Z (м), пройденную им (см. рис. 19) от питателей до встречи с другим потоком (определяют только для отливок I группы простой конфигурации).

Расчет и конструирование нижней литниковой системы. Расчет начинают с нахождения по формуле (19) такого максимального допустимого в начальной (наиболее опасной) стадии заливки расхода расплава через рабочую полость формы, при котором обеспечивается ламинарное или с незначительной турбулентностью течение расплава:

$$Q_ф = kP_ф.$$

Значения коэффициента принимают равными:

для отливок простой конфигурации (подгруппы Iа и IIа, табл. 13) $k_1 = 3{,}1 \div 3{,}9$;

для отливок сложной конфигурации (подгруппа Iб и IIб табл. 13) $k_2 = 1{,}2 \div 2{,}0$.

Расчет выполняют по средним значениям коэффициента, равным соответственно $k_{1ср} = 3{,}5$ и $k_{2ср} = 1{,}6$.

Выбранный из условия сохранения ламинарности потока максимально допустимый расход создает такую скорость $v_{ф\,max}$ течения металла в начальной стадии заполнения формы, которая удовлетворяет левой части неравенства (14). Исходя из найденной $Q_ф$, при контрольном расчете определяют фактическую скорость $v_ф$ подъема расплава в форме и сопоставляют ее с минимально допустимой $v_{ф\,min}$ для конкретных условий литья, т. е. проверяют $Q_ф$ на соответствие правой части неравенства (14).

Среднюю фактическую скорость течения расплава в форме для отливок, заливаемых при постоянном напоре (I группа отливок, см. табл. 13), определяют из выражения

$$v_ф = \frac{Q_ф}{F_ф}, \qquad (30)$$

а для отливок, заливаемых при переменном напоре (II группа отливок), из выражения

$$v_ф = \frac{Q_ф \sqrt{H_р}}{\sqrt{H_0}\, F_ф}, \qquad (31)$$

где $F_ф$ — наибольшее сечение рабочей полости формы на уровне подвода питателей (или выше этого уровня), нормальное к направлению потока (см. рис. 31, *б*); $H_р$ и H_0 — напоры

соответственно первоначальный и средний расчетный. Значение $H_р$, рассчитанное по формуле (28), является приближенным. Однако существенные погрешности не будут внесены в расчет, если H_0 превосходит высоту отливки, что, как правило, и имеет место при получении сложных отливок. В этом случае $H_0 > h_{отл}$, что создается в результате обязательного применения чаш и прибылей. В тех же случаях, когда $H_0 \approx h_{отл}$, вместо $H_р$ в формулу (31) подставляют фактический напор $H_ф$ над расчетным (опасным) сечением формы; $H_ф = H_0 - h_{отл}$, где $h_{отл}$ — высота отливки от уровня питателей до опасного по заполняемости сечения формы.

Значения минимально допустимых скоростей течения расплава в форме $v_{ф\,min}$ для конкретных условий литья определяют по формулам и графикам, приведенным ранее.

Если при поверочном расчете на заполняемость окажется, что условие $v_ф \geqslant v_{ф\,min}$ соблюдается, то полученное значение максимально допустимого расхода считают оптимальным. При $v_ф < v_{ф\,min}$ повышают температуру заливаемого сплава, изменяют положение отливки в форме или применяют специальные средства, способствующие лучшей заполняемости форм. Если и этих средств недостаточно для заполняемости формы, то увеличивают $Q_Ф$, т. е. принимают большее значение коэффициента в формуле (19).

Расчет стояков.

Определение фактической расчетной скорости течения расплава в стояке. Максимально допустимый расход металла обеспечивается суммарной площадью поперечных сечений стояков $F_с$ и фактической (расчетной) скоростью течения расплава в них:

$$Q_ф = F_с \mu \sqrt{2gH_0} = F_с v_с.$$

Учитывая конструкцию литниковой системы, первоначальный напор, диаметр стояка в нижнем сечении, длину одной ветви коллектора, число питателей и температуру заливки сплава, по табл. 3 и рис. 11—15 или формуле (2) определяют значение коэффициента расхода μ и затем рассчитывают скорость течения расплава в стояке $v_с$.

Скорости течения расплава в стояке прямоугольного сечения с бо́льшим гидравлическим сопротивлением по сравнению с круглым стояком находят по формуле

$$v_с' = v_с - k,$$

где $v_с$ — скорость для стояка круглого сечения, имеющего одинаковую площадь со стояком прямоугольного сечения; k — поправка к скорости, принимаемая в зависимости от первоначального напора H_0 по табл. 14.

14. Значения поправок к скоростям потока расплава в стояках

Диаметр стояка $d_{с.н}$	Поперечное сечение стояка $a \times b$ *	Значение поправки, м/с	
мм		$H_0 = 0{,}1 \div 0{,}45$ м	$H_0 > 0{,}45$ м
10	13×6	0,18	0,40
12	16×7	0,16	0,35
14	19×8	0,15	0,30
16	20×10	0,13	0,25
18	21×12	0,12	0,22
20 и более	26×12 и более	0,1	0,20

* Размеры стояка прямоугольного сечения.

При необходимости уменьшить скорости потока в литниковой системе устанавливают в основании стояка, в коллекторе или питателях фильтровальные сетки (рис. 32), а также применяют зигзагообразные стояки (рис. 33).

Применение зигзагообразных стояков прямоугольного сечения позволяет снизить скорости потока по сравнению с прямыми стояками примерно на 10—25 % в зависимости от шага и числа витков зигзагообразной части стояка, а установка сеток — на 20—30 % в зависимости от их живого сечения, которое обычно составляет 30—50 % площади нижнего сечения стояка.

Сетки изготовляют из листовой стали толщиной 0,3—0,5 мм с отверстиями

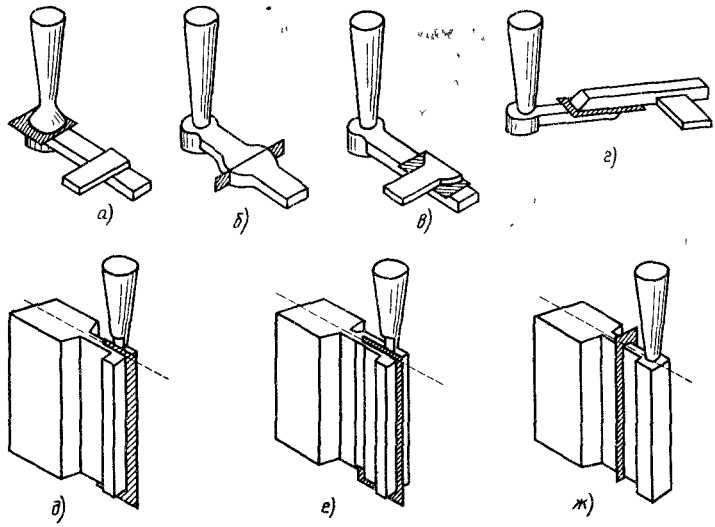


Рис. 32. Схемы установки фильтровальных сеток в песчаных формах (*а*—*г*) и кокилях (*д*—*к*):

а — под стояком; *б* — в расширенной части коллектора; *в* — под питателем; *г* — по разъему между металлоприемником и коллектором; *д* — в вертикальном колодце; *е* — в колодце и вертикальной щели; *ж* — в вертикальной щели

диаметром 1,5—2,0 мм или из стеклоткани с размером ячейки 1×1; 1,7×1,7 и 2×2 мм. Для повышения эффективности работы сеток их изготовляют из двух слоев ткани. В местах установки сеток (под стояком или в коллекторе) предусматривают расширение канала (см. рис. 32, *а*, *б* и *в*), которое под стояком составляет обычно (2÷4) $F_{\text{с}}$, а в коллекторе — (2÷4) $F_{\text{к}}$.

Определение суммарной площади сечения и числа стояков. Учитывая $Q_{\text{ф}}$ и $v_{\text{с}}$, создающуюся в первоначальный момент заполнения формы, находят суммарную площадь нижнего поперечного сечения стояка по формуле (18).

Предварительно при выборе конструкции литниковой системы и определении исходных данных для расчета задают произвольную площадь $f_{\text{с. н}}$ сечения одного стояка или $d_{\text{с. н}}$, иначе невозможно было бы определить ги-

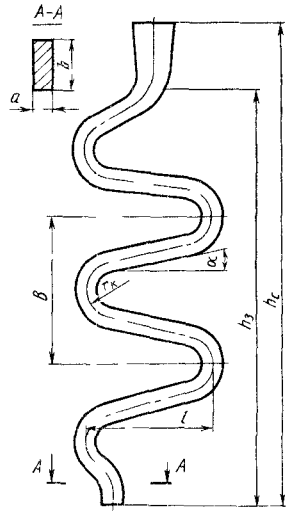


Рис. 33. Конструктивное построение змееобразного стояка:

$h_{\text{з}}$ — высота змееобразной части стояка; B — шаг витка канала; l — расстояние между осями по ширине; $r_{\text{к}}$ — радиус кривизны оси канала; $h_{\text{з}}$ — (0,8÷0,75) $h_{\text{с}}$; $B = 45$ мм; $l = 80$ мм; $r_{\text{к}} = 20$ мм; $\alpha = 15 \div 30°$

15. Максимально допустимые скорости потока в стояках

Круглые стояки		*Прямоугольные стояки*	
$d_{с.н}$, мм	$v_{с\,max}$, м/с	$a \times b$, мм	$v_{с\,max}$, м/с
10	2,61	13×6	3,18
12	2,18	16×7	3,68
14	1,86	19×8	2,32
16	1,63	20×10	1,97
18	1,45	21×12	1,70
20	1,3	26×12	1,59
22	1,18	29×13	1,43
24	1,08	30×15	1,3
26	1,0	31×17	1,18
28	0,93	32×19	1,07
30	0,87	32×22	1,0

дравлические сопротивления стояка, а значит, найти $v_с$. Эта площадь $f_{с.н}$ ($d_{с.н}$) может не совпадать (и, как правило, не будет совпадать, т. е. $f_{с.н} \neq F_с$) с площадью, подсчитанной по формуле (18). Изменять принятое сечение стояка нельзя, так как это привело бы к изменению гидравлических сопротивлений системы и гидравлического радиуса стояка $R_с$, а следовательно, к изменению установленной скорости. В этом случае применяют несколько параллельно действующих стояков, каждый из которых должен сохранить выбранные ранее конфигурацию и сечение и, таким образом, обеспечить требуемую скорость.

Предварительно выбранная конструкция коллектора и питателей остается неизменной, что может вызвать некоторое изменение гидравлических сопротивлений системы. Однако это изменение незначительно, и им можно пренебречь.

Расчетная скорость $v_с$, подставляемая в формулу (18), не должна превышать максимально допустимого значения для данного стояка, определяемого из выражения для числа Рейнольдса (3). Значения максимально допустимых скоростей для некоторых типов стояков, рассчитанные по формуле (15), приведены в табл. 15.

Число стояков находят из равенства

$$n = \frac{F_с}{f_с};$$

площадь стояка в верхнем сечении — из выражения (13):

$$f_{с.в} \geqslant f_{с.н} \frac{\mu_с}{\mu_ч} \sqrt{\frac{H}{h_ч}}.$$

Расчеты показывают, что применительно к стояку круглого сечения условие (13) обеспечивается, если стояку придать конусность; диаметр верхнего сечения стояка в этом случае находят по эмпирической зависимости

$$d_{с.в} = d_{с.н} + 0{,}015 h_с.$$

Расчет коллектора. Суммарную площадь поперечного сечения коллектора $F_к$ определяют после нахождения $F_с$ с учетом принятого между ними соотношения, затем коллектор проверяют на условие (16), обеспечивающее протекание расплава с допустимой турбулентностью. С этой целью определяют фактическую скорость потока в коллекторе

$$v_к = v_с \frac{F_с}{F_к}$$

и сопоставляют ее с максимально допустимым значением, найденным из выражения (16). При этом необходимо соблюдать условие: $v_к \leqslant v_{к\,max}$. При $v_к > v_{к\,max}$ выбирают другое отношение $F_с/F_к$, обеспечивающее снижение скорости потока в коллекторе до необходимого значения.

Расчет питателей. Суммарную площадь поперечных сечений питателей определяют, исходя из принятого соотношения $F_с : F_к : F_п$. Площадь сечения одного питателя находят из равенства

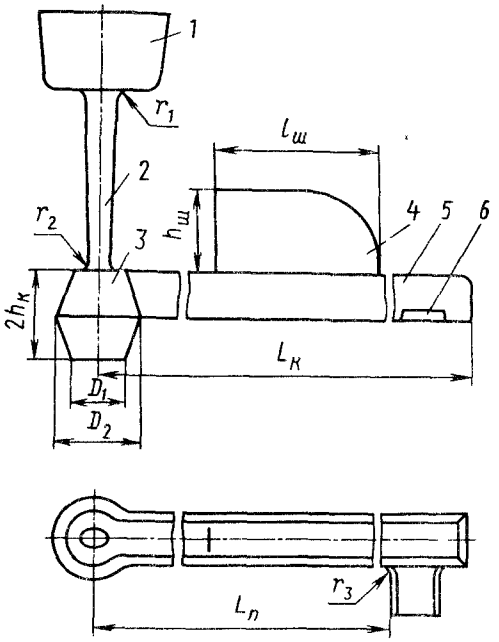
$$f_п = \frac{F_п}{n},$$

где n — число питателей.

Толщину питателей $\delta_п$ рассчитывают, исходя из условий предотвращения засоса шлака через них по формуле 12):

$$\delta_п \leqslant \frac{h_к}{3{,}25}.$$

Расстояние от стояка до первого питателя находят по формуле (8).



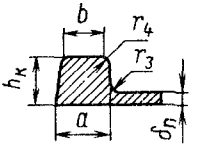
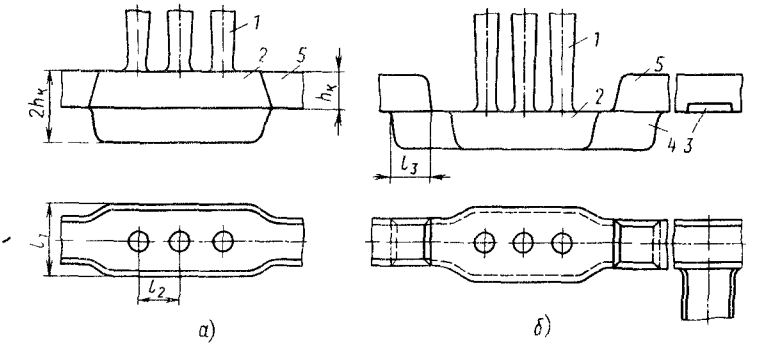


Рис. 34. Конструкция нижней литниковой системы:

1 — чаша; *2* — стояк; *3* — зумпф; *4* — шлакосборник; *5* — коллектор; *6* — питатель; $r_1 = \frac{d_{с.в}}{2}$; $r_2 = \frac{d_{с.н}}{2}$; $r_3 = \delta_п$; $r_4 = (0{,}1 \div 0{,}15)\, h_к$; $D_1 = 2{,}5 d_{с.н}$; $D_2 = 3 d_{с.н}$; $a = h_к$; $b = 0{,}8a$; $h_ш = 2h_к$; $l_ш = 3{,}5h_к$

Затем по формуле $v_п = v_с\,(F_с/F_п)$ находят фактическую скорость потока в питателях и сопоставляют ее с максимально допустимым значением, найденным из выражения (17). При $v_п > v_{п\,max}$ уменьшают $R_п$ или снижают $v_п$, применяя другое (большее) соотношение $F_п/F_с$.

Конструкция нижней литниковой системы показана на рис. 34; конструкции зумпфа и металлоприемника при нескольких стояках приведены на рис. 35. Исполнительные размеры литниковых чаш принимают в зависимости от их высоты $H_ч$ по табл. 8 и 9; воронок — по табл. 7.



а) *б*)

Рис. 35. Конструкция зумпфа (*а*) и металлоприемника (*б*) при нескольких стояках:

1 — стояк; *2* — зумпф; *3* — металлоприемник; *4* — коллектор; *5* — питатель; $l_1 = (3{,}0 \div 4{,}0)\, d_{с.н}$; $l_2 = (2{,}5 \div 3{,}0)\, d_{с.н}$; $l_3 = (0{,}8 \div 1{,}0)\, h_к$; $F_э = (4 \div 6)\, F_с$; $F_э$ — площадь горизонтального сечения зумпфа

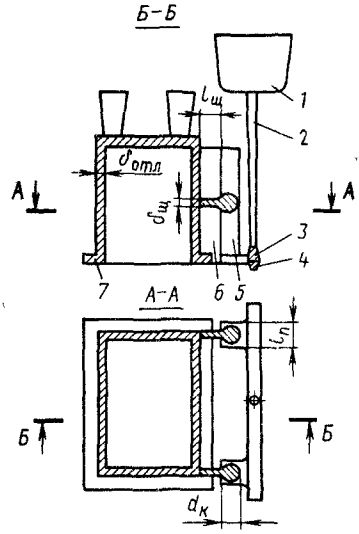


Рис. 36. Конструкция вертикально-щелевой литниковой системы:
1 — чаша; *2* — стояк; *3* — коллектор; *4* — зумпф; *5* — вертикальный колодец; *6* — вертикальная щель; *7* — отливка

Расчет и конструирование вертикально-щелевой литниковой системы. Участок вертикально-щелевой литниковой системы (рис. 36), содержащий литниковую чашу, стояк, коллектор, питатели (входные каналы в вертикальные щели), представляет собой нижнюю литниковую систему, расчет которой изложен ранее.

Вертикально-щелевую часть системы (колодцы и щели) по отношению к соединенной с ней нижней литниковой системой можно условно рассматривать как часть отливки. Поэтому сначала рассчитывают размеры и число элементов вертикально-щелевой части литниковой системы, а затем, присоединив эти элементы к очертанию отливки, — нижней литниковой системы.

Таким образом, порядок расчета вертикально-щелевой литниковой системы следующий:

определяют суммарную толщину всех вертикальных щелей:

$$\sum \delta_щ = (0{,}008 \div 0{,}012)\, P_ф,$$

где $P_ф$ — полный периметр сечения формы, определяемый по формуле (29);

толщину одной щели вычисляют из выражения

$$\delta_щ \leqslant (0{,}7 \div 1{,}0)\, \delta_{отл},$$

где $\delta_{отл}$ — преобладающая толщина стенки отливки в месте соединения ее с вертикальной щелью;

находят число щелей, соответствующее числу вертикальных колодцев:

$$n = \frac{\sum \delta_щ}{\delta_щ};$$

вычисляют ширину (расстояние от отливки до колодца) вертикальной щели $l_щ$ и диаметр колодца $d_к$ по формуле

$$l_щ = d_к \geqslant 4\delta_щ;$$

принимают ширину питателей $l_п$ из условия $l_п \geqslant d_к$;

определяют суммарный периметр сечения формы $\sum P_ф$, который равен сумме периметров: рабочей полости формы $P_ф$, суммарных колодцев $P_к$ и щелей $P_щ$, т. е.

$$\sum P_ф = P_ф + P_к + P_щ.$$

После этого рассчитывают максимально допустимый расход расплава по формуле (19), в которой $P_ф$ заменяют на $\sum P_ф$. Далее расчет выполняют в соответствии с методикой, изложенной для нижней литниковой системы.

Особенности расчета литниковых систем других типов. Конструкция верхней и боковой литниковых систем отличается от конструкции нижней литниковой системы лишь местом подвода расплава к отливке. Поэтому последовательность определения исходных данных и порядок расчета верхней и боковой литниковых систем совпадают с уже изложенным порядком для нижней литниковой системы.

Особенности же расчета верхних и боковых литниковых систем следующие.

Верхняя литниковая система. Так как высота отливки над уровнем подвода расплава $h_{отл} = 0$ и $h_с = h_{пр}$, то согласно (28) $H_р = H_0$. Поэтому при расчете заполняемости фактическую скорость подъема расплава в форме для всех групп отливок определяют из выражения (30).

Боковая литниковая система. При определении высоты стояка и расчетного напора по формуле (28) в расчете используют высоту отливки $h_{отл}$ над уровнем подвода расплава в форме (см. рис. 31, *б*).

Расчет заполняемости формы проводят по наиболее опасному сечению формы, расположенному выше уровня подвода расплава, так как условия заполняемости верхней части отливки будут хуже, чем нижней.

Ярусная литниковая система. При расположении питателей в горизонтальных плоскостях (см. рис. 1, *д*) каждый из ярусов представляет собой нижнюю систему для вышерасположенной части отливки. Поэтому ярусную систему с горизонтальными питателями рассчитывают по методике расчета нижней системы. В случае расположения питателей в вертикальной плоскости и отвода их от вертикального колодца (см. рис. 1, *е*) расчет проводят по методике, изложенной для вертикально-щелевой системы.

Особенности проектирования систем для литья в кокиль и оболочковые формы. Расчет литниковых систем и выбор их конструктивных размеров при литье в кокиль и оболочковые формы осуществляют по тем же методам и исходя из тех же рекомендаций, которые приведены для литья в песчаные формы.

Однако при выборе типа литниковой системы, конструктивном построении и расчете ее размеров необходимо учитывать некоторые особенности рассматриваемых видов литья, связанных прежде всего с условиями охлаждения расплава в форме, газовыделением и его отводом, а также размещением отливок и литниковой системы в форме.

Выбор конструкции литниковой системы, способа и мест подвода металла при литье в кокиль и оболочковые формы во многом зависит от конфигурации отливки и расположения плоскости разъема формы. В отличие от литья в песчаные формы, в которых преобладает горизонтальный разъем, в кокиле или в оболочковой форме разъем может быть горизонтальным, вертикальным или комбинированным (для кокиля).

Ограниченное число плоскостей разъема формы и необходимость уменьшать ее размеры не всегда позволяют применить разветвленную литниковую систему и разместить шлакоулавливающие элементы. Это затрудняет создание участков системы, успокаивающих поток расплава и задерживающих шлаковые включения. Поэтому особое внимание при литье в кокиль и оболочковые формы обращают на выбор конструкции литниковой чаши и технику заливки, которые должны обеспечить задержание шлака в чаше и создать условия спокойного ввода расплава в форму.

При литье в кокиль и оболочковые формы острые кромки каналов приводят к еще большему образованию завихрений, разрывов оксидной пленки и замешиванию внутрь потока шлаков, чем при литье в песчаные формы. Учитывая это, все сопряжения литниковых каналов друг с другом, повороты, ответвления и другие подобные элементы системы выполняют плавными, а в необходимых местах предусматривают зумпфы.

Конструкции литниковых систем для литья в кокиль. При выборе конструкции и размеров литниковой системы необходимо учитывать особенности литья в кокиль — быстрое падение температуры расплава и газонепроницаемость формы.

При литье в кокиль применяют нижнюю, верхнюю (главным образом для мелких отливок), вертикально-щелевую и комбинированную литниковые системы. При получении мелких и средних отливок литниковые системы часто имеют упрощенную конструкцию (рис. 37).

Хорошие результаты по качеству и экономичности производства мелких и средних отливок получают, используя заливку сверху и одновременную кантовку кокиля (рис. 38). Такой заливкой обеспечивают плавное и равномерное заполнение сплавом полости кокиля (как и при заливке снизу) и направленное распределение температуры по сечению отливки (как при заливке сверху). При заливке с кантовкой наряду с применением верхней литниковой системы можно также ликвидировать в литниковой системе устройства для улавливания

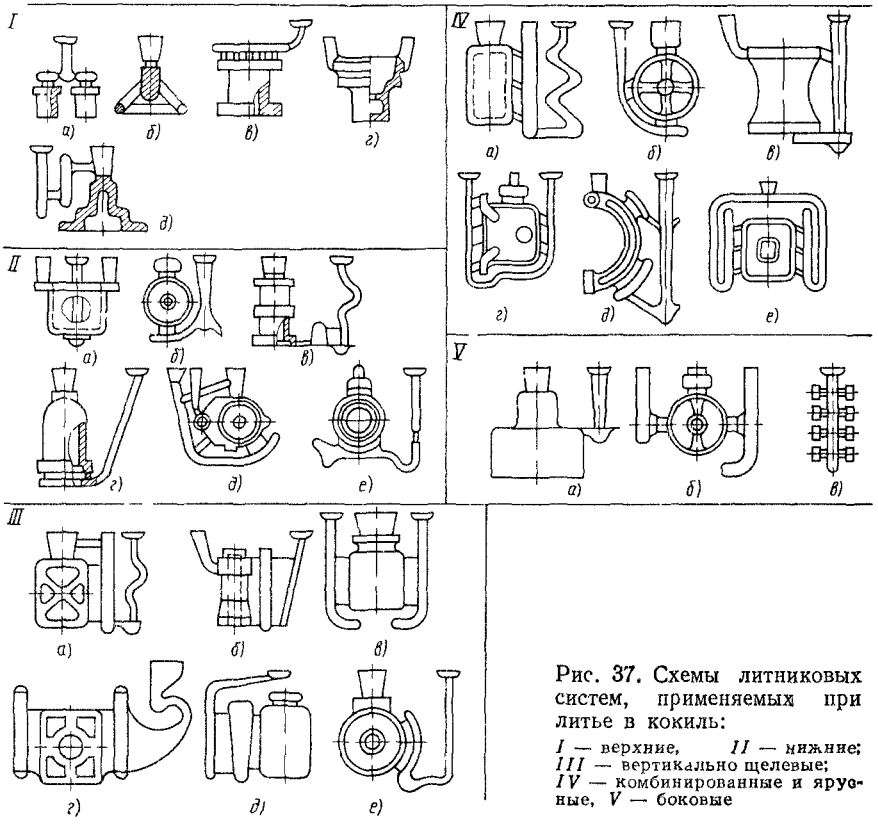


Рис. 37. Схемы литниковых систем, применяемых при литье в кокиль:

I — верхние, *II* — нижние; *III* — вертикально щелевые; *IV* — комбинированные и ярусные, *V* — боковые

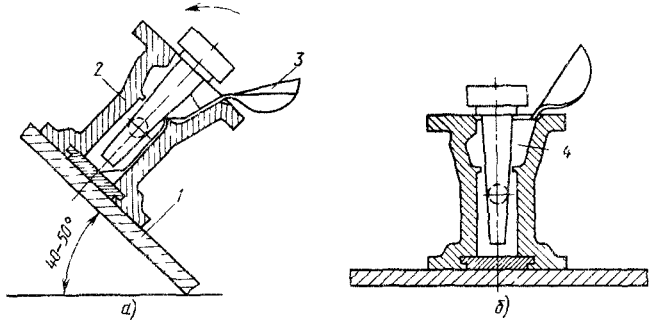


Рис. 38 Схема заливки сверху (через прибыль) с кантовкой кокиля (направление поворота указано стрелкой):

а — начало заливки, *б* — окончание; *1* — поворотная плита кокиля; *2* — кокиль; *3* — заливочный ковш, *4* — полость, заполняемая жидким металлом

шлаковых включений и, кроме того, сократить расход металла на прибыли.

При получении цилиндрических отливок через нижнюю систему расплав к отливке чаще всего подводят через кольцевой питатель, отходящий от кольцевого массивного коллектора (см. рис. 37, II, *г*). Такая форма питателя обеспечивает не только равномерное распределение расплава по периметру отливки, но и создает (за счет уменьшения гидравлического радиуса) наилучшие условия для ламинарного течения металла в полости формы.

Для литья в кокиль применяют стояки специальных конструкций: наклонные с круглым, овальным или многогранным сечением (см. рис. 5), змееобразные и изогнутые, получившие название «гусиной шейки» (см. рис. 37, III, *а*, *г* и *е*). В таких стояках *снижается скорость движения сплава* и создаются потоки с незначительной турбулентностью, что исключает захват воздуха, образование шлаков и пены в самой литниковой системе и обеспечивает спокойное, без разбрызгивания сплава, заполнение рабочей полости формы. Например, применение в вертикально-щелевых литниковых системах наклоненных под углом 30—50° стояков (см. рис. 37, III, *б*) обеспечивает условия заполнения формы, *близкие к условиям*, получаемым при заливке с кантовкой.

Вертикально-щелевые литниковые системы широко применяют при литье поршней, цилиндрических деталей типа втулок, обечаек и т. п. (см. рис. 37, III, *б* и *г*). При заливке небольших деталей сплав вводят в полость отливки непосредственно через щелевой питатель, отходящий от стояка (см. рис. 37, III, *в*); при заливке крупных отливок обязателен такой элемент вертикально-щелевой системы, как вертикальный колодец, который иногда выполняет роль коллектора (см. рис. 37, III, *а* и *д*).

Для получения отливки с развитой поверхностью и достаточно большой высотой ($h_{отл}/\delta_{отл} > 50$) применяют ярусные системы, обеспечивающие хорошие заполняемость формы и питание отливки благодаря подаче горячего расплава в ее верхнюю часть или в прибыль (см. рис. 37, IV, *а* и *в*).

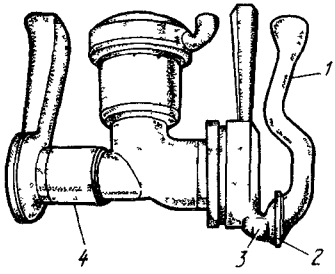


Рис. 39. Отливка с литниковой системой, снабженной фильтровальной сеткой, установленной в нижней части стояка:

1 — стояк; *2* — сетка; *3* — питатель; *4* — отливка

Применение простых по конструкции литниковых систем приводит к необходимости использовать фильтровальные сетки, гасящие динамический напор металла и улавливающие неметаллические включения (см. рис. 32). При вертикальном разъеме кокиля и нижнем подводе расплава сетки устанавливают в самой нижней части систем (рис. 39), что способствует задержанию шлаковых включений и спокойному вводу расплава в полость формы.

Более быстрое, чем в песчаной форме, охлаждение расплава вынуждает чаще, особенно при нижней литниковой системе, создавать условия для направленной кристаллизации и подпитывания отдельных массивных частей отливки. С этой целью осуществляют (если позволяют размеры кокиля) подвод расплава через отводные прибыли (питающие бобышки), устанавливаемые над питателями (см. рис. 37, II, *в*).

Конструкции систем для литья в оболочковые формы. Особенности литниковых систем и заливки расплава при литье в оболочковые формы связаны с выбором плоскости разъема формы. При вертикальном разъеме формы сборка и заливка формы упрощаются, так как в этом случае не нужно наращивать стояк и прибыль, появляется возможность механизированной засыпки формы опорным материалом, использования тонких обо-

лочек, сокращения производственных площадей под заливку. Однако при вертикальной заливке труднее обеспечить питание внутренних утолщенных мест отливки и удаление воздуха из глубоких полостей, что может привести к появлению усадочных дефектов или дефектов газового характера. Поэтому вертикальную заливку преимущественно применяют для тонкостенных отливок, а также для отливок, отливаемых из сплавов с малой усадкой и с равномерными толщинами стенок.

При горизонтальной заливке легче предусмотреть рассредоточенный подвод расплава к отливке и предотвратить местные перегревы формы. Такой способ заливки используют при литье сложных отливок ответственного назначения, получаемых из сплавов (в том числе магниевых), имеющих большую усадку.

Недостатки горизонтальной заливки: необходимость применения более толстых оболочек, нагружения формы перед заливкой, затрудненность механизации сборки и увеличение площади заливочного участка.

При литье в оболочковые формы, так же как и при литье в кокиль, применяют верхнюю, нижнюю, с боковым подводом, вертикально-щелевую и ярусную с вертикальными питателями системы.

Верхнюю литниковую систему используют в основном для мелких отливок при вертикальной плоскости разъема формы — такая система обеспечивает направленную кристаллизацию сплава. В тех случаях, когда в одной форме располагают несколько мелких отливок, применяют упрощенную литниковую систему с боковым подводом расплава (см. рис. 37, I, *в*). Для устранения усадочных дефектов подводят сплав через отводные (боковые) прибыли.

При литье в оболочковые формы не всегда удается разместить длинный коллектор, поэтому, если необходимо подводить металл в нескольких местах, заливку производят через два самостоятельных стояка.

Для снижения динамического напора металла и турбулентности потока (неразветвленные системы) применяют

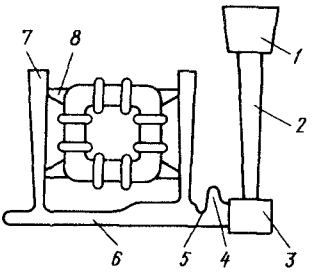


Рис. 40. Схема литниковой системы с дросселем для заливки нескольких коленчатых патрубков:
1 — чаша; *2* — стояк; *3* — зумпф; *4* — шлакосборник; *5* — дроссель (пережим); *6* — горизонтальный коллектор; *7* — вертикальный коллектор; *8* — питатели

дроссели (рис. 40). Наиболее распространены литниковые системы с двумя сужениями. Первое дросселирование (сужение) происходит в нижней части конического стояка; второе — в коллекторе, недалеко от зумпфа стояка.

Особенности расчета литниковых систем при литье в кокиль и оболочковые формы. При заливке крупных отливок, отличающихся сложностью конфигурации, расчет расхода проводят по формуле (19); при заливке мелких и средних отливок, а также плоскостных отливок простой конфигурации, заполняемость которых трудно обеспечивается, — по формуле (22) или (23).

Гидравлические сопротивления литниковой системы при литье в кокиль и оболочковые формы незначительно отличаются от аналогичных сопротивлений при литье в песчаные формы. Поэтому для расчета скоростей потока в литниковых каналах используют экспериментальные значения коэффициента расхода, полученные при литье в песчаные формы.

Кроме рассмотренных ранее типовых конструкций литниковых систем, при получении мелких и средних отливок в кокиль применяют простые по конструкции литниковые системы (см. рис. 37). Очень часто основными элементами, создающими гидравлические сопротивления в этих системах, являются (см. табл. 1) чаша (воронка) и стояк (система Л-1); чаша, стояк,

зумпф и поворот в коллектор (системы Л-2, Л-3); чаша, стояк, зумпф, прямой или изогнутый коллектор (системы Л-4, Л-5, Л-6 и Л-7). Такие системы можно использовать как самостоятельные или в качестве начальных участков более сложных систем.

Значение коэффициента расхода μ для мелких отливок при заливке в кокиль через вертикальные системы (питатели и коллектор расположены в вертикальной плоскости разъема) можно принять по данным В. П. Мальцева; для ярусной системы с вертикальными питателями (см. рис. 37, IV, *а*, *г* и *е*) $\mu = 0{,}7 \div 0{,}8$; для вертикально-щелевой системы (см. рис. 37, III, *а*—*е*) и нижней (см. рис. 37, II, *б* и *е*) $\mu = 0{,}65 \div 0{,}76$; для комбинированной (см. рис. 37, IV, *б*, *в* и *д*) $\mu = 0{,}56 \div 0{,}67$ (меньшее значение μ принимают при минимальном значении $t_{зал}$, большее — при максимальном значении).

2. Прибыли

Классификация прибылей. Прибыли для отливок подразделяют (рис. 41):

по способу формовки: на открытые и закрытые;

по расположению относительно питаемого узла: на прямого действия, присоединяемые к верхней поверхности отливок, и отводные (боковые), присоединяемые к вертикальным или наклонным поверхностям отливок;

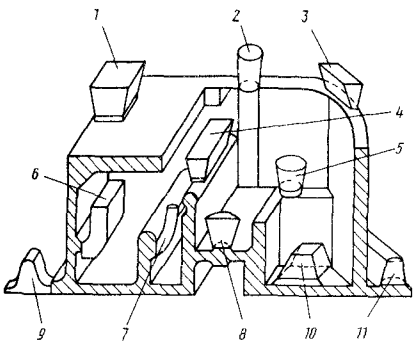


Рис. 41. Схема расположения прибылей на сложной алюминиевой отливке:

1—8 — открытых; *9—11* — закрытых; *1—5* — бокового питания; *10* и *11* — прямого действия; *1, 3, 4, 6, 9* и *10* — прямоугольных; *2, 5, 7* и *8* — круглых конических; *6, 7* и *9* — бокового питания; *9* и *11* — с обратным конусом

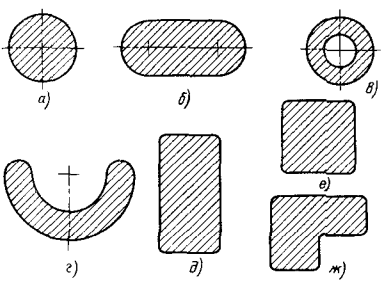


Рис. 42. Поперечные сечения прибылей:

а — круглое; *б* — овальное; *в* — кольцевое; *г* — полукольцевое (торовое); *д* — прямоугольное; *е* — квадратное; *жс* — фигурное

по геометрической форме: на круглые (цилиндрические, шаровые, полушаровые, кольцевые, полукольцевые, комбинированные), плоские (прямоугольные, квадратные) и фигурные; поперечные сечения прибылей приведены на рис. 42, продольные — на рис. 43—45;

по условиям охлаждения: на обычные, оформляемые тем же материалом, что и отливка; теплоизолированные, оформляемые менее теплопроводным материалом, чем отливка; обогреваемые экзотермическими смесями или

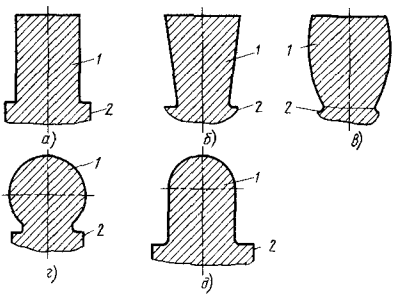


Рис. 43. Продольные сечения прибылей:

а — прямоугольное; *б* — коническое; *в* — с выпуклыми боковыми стенками; *г* — круглое (для шаровых прибылей); *д* — с выпуклой верхней поверхностью (для полушаровых прибылей); *1* — прибыли; *2* — отливки

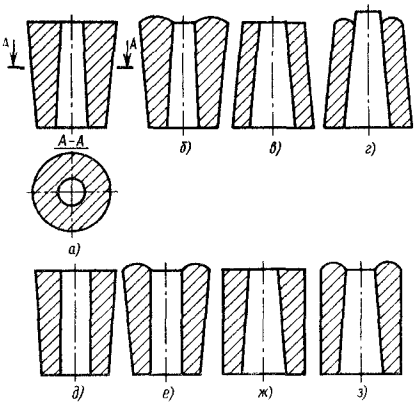


Рис. 44. Разновидности продольных сечений кольцевых открытых (*а*, *в*, *д* и *ж*) и закрытых (*б*, *г*, *е* и *з*) прибылей:

а—г — с двусторонним уклоном в разных (*а* и *б*) и одном (*в* и *г*) направлениях; *д—з* — с односторонним наружным (*д*, *е*) и внутренним (*ж*, *з*) уклонами

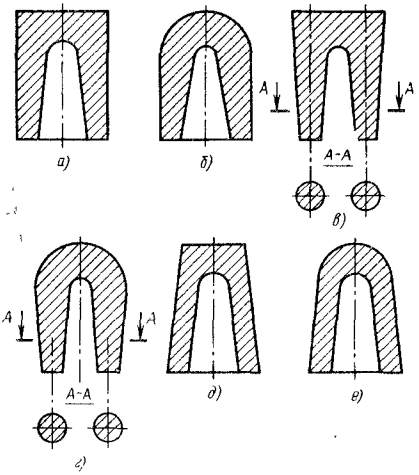


Рис. 45. Разновидности комбинированных (круглокольцевых) продольных сечений открытых (*а*, *в* и *д*) и закрытых (*б*, *г* и *е*) прибылей:

а и *б* — без наружного уклона; *в—е* — с наружным прямым (*в* и *г*) и обратным (*д* и *е*) уклонами

внешним источником тепла — электрическим, газовым, химическим;

по способу использования давления: на обычные, в которых не принимается специальных мер по созданию давления, с «атмосферным» давлением, с газовым давлением и с воздушным давлением;

по способу удаления: на отрезные и легкоотделяемые — отламываемые, присоединяемые к отливке через разделительные пластины;

по числу питаемых узлов: на индивидуальные и групповые.

Наиболее распространены открытые прибыли, которые применяют на мелких, средних и крупных отливках. Эти прибыли можно доливать горячим металлом, засыпать их поверхность экзотермическими или теплоизолирующими смесями (сухим песком, угольной пылью и др.); с их помощью удаляют газы из полости формы, что улучшает их заполняемость (особенно тонкостенных протяженных отливок); во многих случаях такие прибыли облегчают формовку, особенно ручным способом. Открытые прибыли удобнее закрытых при литье легких сплавов, так как в этом случае потери теплоты через открытые поверхности значительно меньше, чем при литье с открытыми прибылями тяжелых сплавов, т. е. потери при литье легких сплавов составляют 8 % общих потерь при $H_п : D_п = 1$, в то время как для тяжелых медных сплавов при тех же условиях потери составляют примерно 55 %.

Закрытые прибыли прямого действия с атмосферным давлением имеют следующие преимущества: обеспечивают постоянство объема прибылей, так как их высота не связана с условиями заливки, упрощают формовку (особенно на машинах), улучшают процесс питания, уменьшают расход металла по сравнению с отводными прибылями, позволяют широко использовать различные способы теплоизоляции, экзотермического обогрева и газового давления.

Отводные прибыли применяют в тех случаях, когда установка прямых прибылей усложняет обработку отливок резанием, или такую прибыль можно использовать в качестве групповой для питания нескольких мелких от-

ливок, или конфигурация отливки и условия формовки затрудняют применение прибылей прямого действия.

Применение легкоотделяемых прибылей уменьшает в дальнейшем объем обработки резанием и сокращает затраты на их удаление по сравнению с отрезными прибылями. Такие прибыли используют в таких случаях, когда отрезка прибылей затруднена или прибыль установлена на необрабатываемой поверхности отливок. Однако применение легкоотделяемых прибылей требует тщательной сборки и отделки песчаных форм во избежание образования засоров под пластиной — диафрагмой.

Применение обогреваемых прибылей позволяет уменьшить их объем в 1,5—2 раза и таким образом существенно сократить расход жидкого металла на отливку. Наиболее прост и удобен обогрев прибылей экзотермическими смесями. Кроме этого, используют электрические источники обогрева (дугу, элемент сопротивления, индуктор) и обогрев пламенем горелки.

Газовое и воздушное давления повышают надежность работы прибыли, способствуют уменьшению расхода металла и пористости в отливках, однако необходимы дополнительные затраты на их изготовление и тщательную отработку технологического процесса. Применение таких прибылей целесообразно при изготовлении крупных отливок, подвергаемых гидроиспытаниям, а также при большой протяженности питаемых узлов, на которых приходится устанавливать несколько обычных прибылей.

При установке нескольких прибылей на отливке воздушное давление подводят только к одной из них, питающей наиболее ответственный узел. Давление в этой прибыли создается только после изоляции частей формы, питающихся от других прибылей, иначе будет происходить перекачивание металла из одной прибыли в другие.

Требования к прибылям, принципы их построения и размещения на отливках. При выборе размеров и места установки прибылей учитывают необходимость гарантированного питания отливки, так как «экономия» на прибылях при снижении качества отливки недопустима. Однако, помимо экономических соображений, установка лишних прибылей, не принося пользы, может оказаться даже вредной вследствие сильного местного перегрева формы при заполнении ее расплавом.

Прибыль должна удовлетворять следующим основным требованиям: иметь достаточный объем для компенсации усадки сплава при затвердевании; затвердевать позже той части отливки, к которой она присоединена; иметь конфигурацию (для экономии металла), которая обеспечит минимальную поверхность охлаждения; зона усадочной раковины не должна выходить за ее пределы и достигать шейки прибыли.

Шейка прибыли, как и прибыль, должна затвердевать позже отливки и быть как можно короче, так как при этом площадь ее поперечного сечения может быть меньше. Рекомендуется использовать прибыли, шейки которых имеют круглое сечение, что невозможно выполнить при боковых прибылях, присоединяемых к плоским отливкам. В этих случаях толщину шейки принимают равной 0,6—0,8 толщины стенки отливки в месте подвода металла. Для облегчения удаления прибыли шейку выполняют с фаской, которую иногда в верхней прибыли получают при помощи разделительной пластины.

В целях уменьшения объема прибылей и экономии металла необходимо шире использовать теплоизоляционные и экзотермические смеси, специальные конструкции прибылей, работающие под атмосферным, газовым и воздушным давлением.

Прибыль присоединяют к тому тепловому узлу отливки, который затвердевает позже остальных элементов, т. е. прибыль присоединяют к наиболее массивным частям отливок, местным утолщениям, сопряжениям элементов, к месту подвода питателей. Ни один из массивных узлов отливки не должен обособляться от источника питания в процессе затвердевания. Следует всегда стремиться к установке прибылей на верхней части отливки.

Отводную прибыль размещают таким образом, чтобы наивысшая точка узла отливки не превышала ее верхнего

уровня. Нежелательна установка прибылей на необрабатываемых поверхностях отливок.

При установке прибылей учитывают удобство формовки, а также выполнение следующих условий: прибыли не должны затруднять деформацию отливки при усадке, а их отделение от отливок не должно вызывать серьезных затруднений.

На отливках больших габаритов, имеющих постоянное сечение или несколько тепловых узлов, необходимо устанавливать несколько прибылей, так как радиус действия прибылей ограничен. В то же время необходимо стремиться к тому, чтобы из одной прибыли питалось как можно большее число тепловых узлов отливки. В этом случае процесс питания отливки должен быть организован таким образом, чтобы в каждом ее узле осуществлялось направленное затвердевание — от тонких элементов отливки к толстым и, наконец, к прибыли.

С целью соблюдения принципа направленного затвердевания иногда увеличивают площади сечения отливки за счет создания технологических напусков (см. рис. 46). Сложная отливка имеет равномерные по толщине стенки. Узлы отливки *А*, *В* и *С* нельзя захолаживать, так как узлы *А* и *В* — прочные, а узел *С* — питающий. Поэтому вписывают в узел *А* шар и выкатывают его вверх до узла *С*, создавая при этом расширения сечений отливки за счет технологических напусков *6*, *7* и *8*. По наибольшему диаметру шара, вписанному в узел *С*, определяют размер основания прибыли. Чтобы не увеличивать чрезмерно расход металла, технологические напуски выполняют в виде узких поясов, число которых соответствует числу ребер, отходящих от узла *В* к узлу *А* и от узла *С* к узлу *В*.

Узлы питания — это части отливок, через которые осуществляется их питание. По форме узлы питания подразделяются на шаровые (рис. 47, *а*), кубические (рис. 47, *б*), круглые (рис. 47, *в* и *ж*) и плоские (рис. 47, *г*—*и*), по расположению на отливке — на горизонтальные (рис. 47, *в*—*е*) и вертикальные (рис. 47, *ж*—*и*).

Шар и куб относятся к средним по

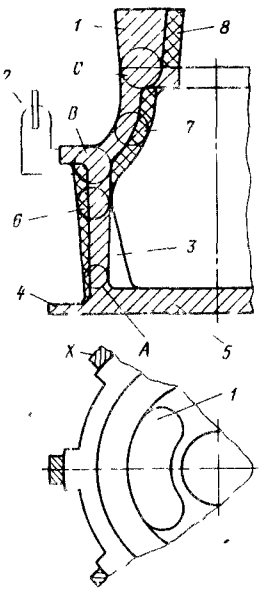


Рис. 46. Устранение термических узлов сложной отливки:

1 — открытая прибыль; *2* — закрытая боковая прибыль атмосферного давления; *3* — ребро; *4* — подвод металла; *5* — отливка; *6—8* — технологические напуски; *Х* — холодильники

высоте питания, у которых $H_{п} \approx H_{у}$; при горизонтальном расположении узлов (низкие узлы) $H_{п} > H_{у}$; при вертикальном расположении узлов (высокие узлы) $H_{п} < H_{у}$.

При выборе места установки прибылей на узлы отливок различных классов сложности можно руководствоваться данными, приведенными в табл. 16.

Расчет прибылей. Одним из важных этапов расчета прибыли является определение ее оптимальной конфигурации исходя из того, что прибыль служит резервуаром жидкого металла и обеспечивает питание отливки. Расчеты показывают, что наивыгоднейшей формой горизонтального сечения прибыли является окружность.

Для прибыли круглого сечения на рис. 48 приведена диаграмма, показывающая связь между относительным

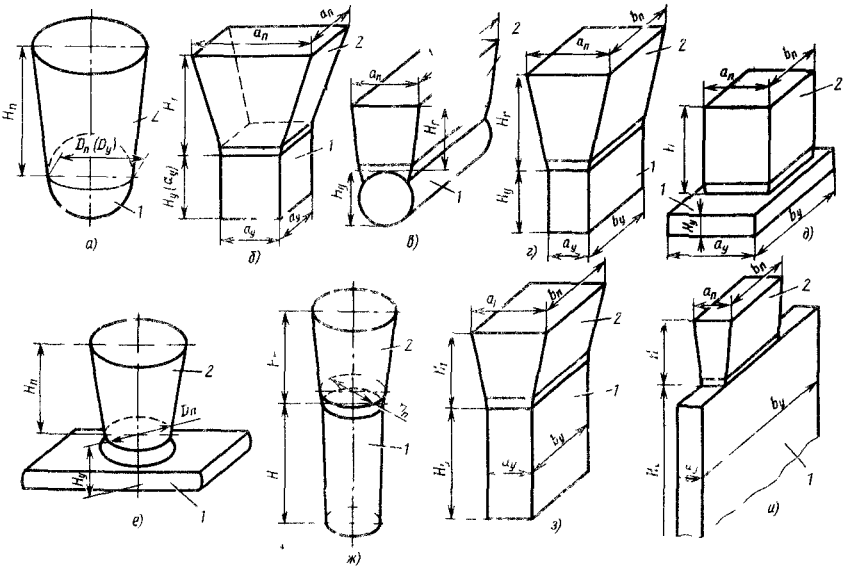


Рис. 47. Форма типовых узлов питания и расположение на них прибылей: *1* — узел питания; *2* — прибыль; $D_п$, $a_п$, $b_п$ и $D_у$, $a_у$, $b_у$ — размеры соответственно прибылей и узлов питания

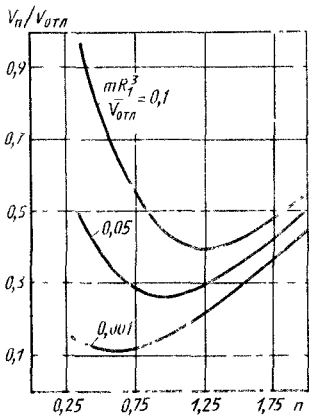


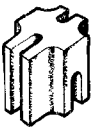
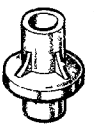
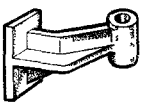
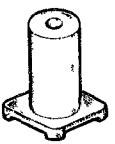
Рис. 48. Зависимость относительного объема прибыли $V_п/V_{отл}$ от безразмерного критерия $\frac{mR_1^3}{V_{отл}}$ и отношения n радиусов верхнего и нижнего сечений прибыли

объемом прибыли $\frac{V_п}{V_{отл}}$ ($V_п$ — объем прибыли; $V_{отл}$ — объем питаемого узла отливки) и отношением n радиусов верхнего и нижнего сечений прибыли при различных значениях безразмерного критерия $\frac{mR_1^3}{V_{отл}}$ (m — относительная скорость затвердевания металла на поверхности прибыли; R_1 — радиус в верхнем сечении прибыли), характеризующего данную отливку. Значения критерия равны 0,001—0,1.

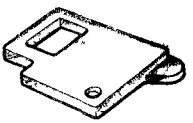
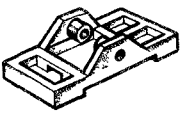
Для каждого значения критерия существует свое значение n, при котором объем прибыли будет минимальным. Однако разница в положении минимума для различных групп отливок невелика, и наивыгоднейшее значение отношения радиусов вверху и внизу мало отличается от единицы, т. е. наивыгоднейшей формой прибыли является цилиндр.

Другим важным этапом, предшествующим расчету прибылей, является

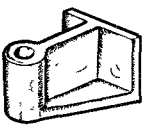
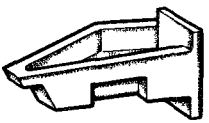
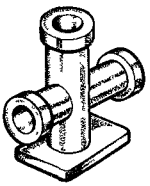
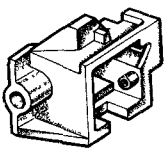
16. Места установки прибылей для отливок различных типов (классов)

Тип (класс) отливки и его характеристика	Эскиз отливки	Место установки прибыли
1. *Куб* — сплошная отливка с центральным размещением основной массы; три осевых размера имеют близкие значения		Верхняя поверхность отливки; диаметр нижнего поперечного сечения прибыли больше в 1,15 раза диаметра окружности, вписанной в питаемый узел
2. *Втулка* — отливка круглого сечения с размещением основной массы вокруг одной оси; осевые размеры примерно одинаковые		На торцовой поверхности; при небольших размерах отливки устанавливают две секторные прибыли, перекрывающие на 40—50 % сечение втулки; при больших размерах втулки число прибылей увеличивают, сохраняя постоянство перекрываемой площади поперечного сечения втулки
3. *Рычаг* — отливки с размещением основной массы вдоль одной оси, размер которой значительно превосходит два других осевых размера		На утолщенных частях; если сечение отливки постоянно по длине, то ставят несколько цилиндрических прибылей, расстояние между которыми определяют по табл 17
4. *Цилиндр* — сплошная отливка с размещением основной массы вдоль одной из осей; один из осевых размеров превосходит два других в 2—3 раза		На верхней торцовой поверхности при вертикальном расположении отливки в форме (нижнее сечение прибыли должно быть равным или несколько большим сечения цилиндра), при горизонтальном расположении отливки применяют прибыли прямоугольного сечения, устанавливаемые на верхней ее поверхности

Продолжение табл. 16

Тип (класс) отливки и его характеристика	Эскиз отливки	Место установки прибыли
5. *Диск* — отливка с плоскостным размещением основной массы; один из осевых размеров в 2—5 раз меньше двух других		На утолщениях или в средней части отливки (если утолщение отсутствует); заливка горизонтальная; используется цилиндрическая прибыль. Радиус прибыли равен 1,5 толщины отливки
6. *Плита* — отливка с плоскостным размещением основной массы; один из осевых размеров значительно меньше двух других		На торцовой поверхности отливок при вертикальной заливке; прибыли имеют прямоугольное сечение. Наименьшее сечение прибыли должно равняться толщине отливки
7. *Труба* — пустотелая отливка с размещением основной массы по периферии вокруг одной из осей; один из осевых размеров значительно больше двух других		На концах трубы с охватом фланцев при горизонтальной заливке; прибыль имеет прямоугольное сечение
8. *Колесо* — отливка круглой формы с размещением основной массы по периферии в одной плоскости; один из осевых размеров значительно меньше двух других		В месте сопряжения обода и на ступицу; прибыль имеет цилиндрическую форму с напусками
9. *Рама* — отливка с неравномерным плоскостным расположением основной массы; комбинация из рычагов; площадь отверстия больше или равна половине площади отливки в плане		На утолщениях или в в местах сопряжения элементов, образующих отливку; прибыль имеет цилиндрическую форму

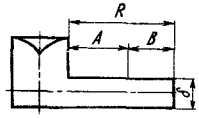
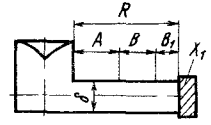
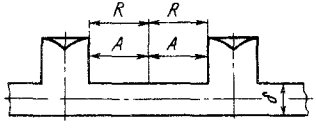
Продолжение табл. 16

Тип (класс) отливки и его характеристика	Эскиз отливки	Место установки прибыли
10. *Кронштейн* — отливка с неравномерным пространственным размещением основной массы; комбинация из плоских стенок и втулок		См. пп .1—9, 12
11. *Коробка* — отливка с пространственным, главным образом периферийным размещением основной массы. Комбинация из плоских стенок, размещенных в различных плоскостях		См. пп. 1—9, 12
12. *Арматура* — отливка с пространственным размещением основной массы; комбинация из втулок, плоских и криволинейных стенок		На фланцах; прибыль имеет прямоугольное сечение, должна охватывать фланцы по дуге до 180° и иметь напуск на торцовую поверхность
13. *Отливка сложной конфигурации* — пространственное размещение основной массы; сложная комбинация из криволинейных стенок и рычагов		См. пп. 1—9, 12

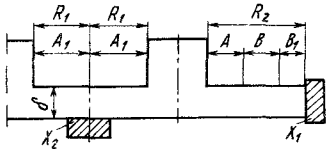
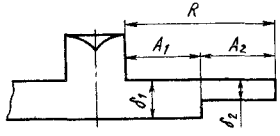
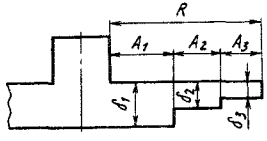
расчленение отливки на части, которые можно питать отдельными прибылями с учетом их радиуса действия, и определение числа прибылей.

Определение числа прибылей и радиуса их действия можно выполнить по табл. 17. При наличии захолаживающего действия торца отливки $R = A + B$ (схема 1), где A — радиус действия прибыли; B — радиус действия торцового эффекта; при наличии холодильника с торца отливки $R = A + B + B_1$ (схема 2), где B_1 — радиус действия холодильника; при отсутствии торцового эффекта $R = A$ (схема 3). При наличии холодильника с торца отливки и под прибылью (или между прибылями) $R_1 = A_1$ и $R_2 = A + B + B_1$ (схема 4), где A_1 — радиус действия прибыли с холодильником; при переменном сечении отливки $R = A_1 + A_2$ (схема 5)

17. Радиус действия открытых прибылей прямого питания в отливках типов бруска, плиты, кольца

Схемы расположения прибылей	Заливаемые сплавы			
	Алюминиевые бронзы и латуни	Оловянные	Al—Cu	Al—Si
1. 	$R = A + B = 4{,}5\delta$	$R = A + B = 3{,}5\delta$	$R = A + B = 8{,}5\delta$ $A = 3{,}0\delta$ $B = 5{,}5\delta$	$R = A + B = 8\delta$
2. 	$R = A + B + B_1 = 5\delta$	$R = A + B + B_1 = 3{,}5\delta + 50$ мм	$R = A + B + B_1$	
3. 	$R = A = 2\delta$	$R = 1{,}5\delta$	$R = A$	

Продолжение табл. 17

Схемы расположения прибылей	Заливаемые сплавы			
	Алюминиевые бронзы и латуни	Оловянные	Al—Cu	Al—Si
4. 	$R_1 = A_1 = 5\delta$ $R_2 = A + B + B_1 = 5\delta$	$R_1 = A_1 = 2\delta$ $R_2 = A + B + B_1 = 3{,}5\delta + 50$ мм	$R_1 = A_1$ $R_2 = A + B + B_1$	
5. 	$R = A_1 + A_2$ $A_1 = 3{,}5\,(\delta_1 - \delta_2)$ $A_2 = 3{,}5\delta_2$	$R = A_1 + A_2$ $A_1 = 3{,}5\,(\delta_1 - \delta_2)$ $A_2 = 3{,}0\delta_2$	$R = A_1 + A_2$	
6. 	$R = A_1 + A_2 + A_3$ $A_1 = 3{,}5\,(\delta_1 - \delta_2)$ $A_2 = 3{,}5\,(\delta_2 - \delta_3)$ $A_3 = 3{,}5\delta_2$	$R = A_1 + A_2 + A_3$ $A_1 = 3{,}5\,(\delta_1 - \delta_2)$ $A_2 = 3{,}5\,(\delta_2 - \delta_3)$ $A_3 = 3\delta_2$	$R = A_1 + A_2 + A_3$	

Примечание. X_1 и X_2 на рисунках — холодильники.

и $R = A_1 + A_2 + A_3$ (схема 6).

В случае применения обогреваемых прибылей радиус их действия можно увеличить на 15—30 %, а у прибылей, работающих под газовым или воздушным давлением, — на 30—50 %.

Для определения зоны действия прибылей можно также пользоваться приведенными ниже соотношениями: $R_п$ и $R_{отл}$ — приведенные радиусы соответственно прибыли и питаемого узла отливки; $l_п$ — длина питаемой зоны прибыли; $\delta_{отл}$ — толщина питаемого узла отливки:

$\frac{R_п}{R_{отл}}$ . . .	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
$\frac{l_п}{\delta_{отл}}$ . . .	4,0	5,5	6,5	6,75	7,0

Расчет. После того как определены *число прибылей и их конфигурация* приступают к расчету основных размеров прибылей. Расчет выполняют с учетом следующих положений: время затвердевания прибыли должно быть больше времени затвердевания питаемого узла; объем прибыли должен быть достаточен для компенсации усадки жидкого металла при затвердевании; усадочная раковина не должна выходить за пределы прибыли и достигать ее шейки.

Место расположения усадочной раковины можно установить путем проведения изотерм-изосолидусов (рис. 49).

Для расчета прибылей в большинстве случаев используют эмпирические зависимости. Наиболее простые из этих зависимостей следующие.

Объем усадочной раковины $V_р$ определяют как сумму усадок сплава при затвердевании объемов отливки (или объема питаемого узла) $V_{отл}$ и $V_п$, т. е.

$$V_р = \beta (V_{отл} + V_п), \qquad (32)$$

где β — коэффициент объемной усадки сплава в интервале температур заливки сплава и солидуса, равный: 0,045 для оловянных бронз; 0,065—0,075 для алюминиевых бронз; 0,075 для многокомпонентных латуней; 0,04 для меди; 0,04—0,075 для магниевых сплавов; 0,035—0,080 для алюминиевых сплавов.

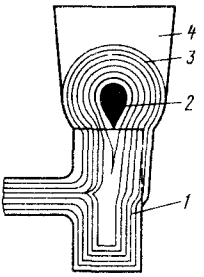


Рис. 49. Схема к определению положения усадочной раковины в прибыли:
1 — отливка; *2* — усадочная раковина; *3* — изотермы-изосолидусы; *4* — прибыль

При расчете β для других сплавов можно принимать $\beta = 3\varepsilon_л$, где $\varepsilon_л$ — литейная усадка сплава.

Установлено, что объем усадочной раковины составляет определенную часть объема прибыли в зависимости от ее типа, т. е. $V_р = kV_п$, где k — коэффициент экономичности (запаса) работы прибыли, равный $^1/_3$—$^1/_6$ для обычных открытых прибылей и $^1/_7$—$^1/_9$ для закрытых прибылей.

Подставляя значение $V_р$ в уравнение (32), получают формулу для расчета объема прибыли

$$V_п = \frac{\beta}{k - \beta}. \qquad (33)$$

На практике для определения объема прибыли во многих случаях используют упрощенную формулу

$$V_п = \frac{\beta}{k} V_{отл}. \qquad (34)$$

Зная значения коэффициента β и задавшись значением k из формулы (34), можно определить предельное значение $V_п$ в зависимости от $V_{отл}$ для каждого конкретного сплава.

Например, допуская, что усадочная раковина в цилиндрической прибыли представляет собой конус с основанием, равным основанию прибыли, и высотой не более $0{,}75H_п$ (рис. 50), можно найти объем усадочной раковины $V_р = 0{,}25V_д$ и таким образом установить коэффициент неэкономичности работы прибыли. Для данного случая этот коэффициент равен $^1/_4$.

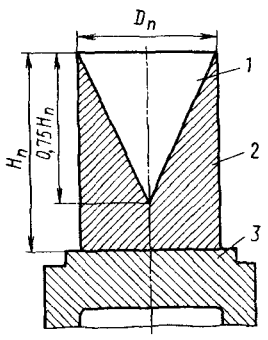


Рис. 50. Схема к расчету объема усадочной раковины:
1 — усадочная раковина; *2* — прибыль; *3* — отливка

Тогда, например, для наиболее широкого распространенного алюминиевого сплава АЛ4 в интервале от температуры литья (800 °С) до температуры солидуса ($\beta = 0{,}035$) объем прибыли в пределе $V_п \simeq 0{,}16V_{отл}$, а для магниевого сплава МЛ5 в том же температурном интервале $V_п \simeq 0{,}46V_{отл}$.

Чтобы зона усадочной раковины не выходила за пределы прибыли, высота $H_п$ должна быть больше высоты $H_{отл}$ питаемого узла отливки. Для цветных сплавов отношение $H_п : H_{отл}$ в среднем можно принять равным 1,5. Чтобы прибыль затвердевала позже узла питания, ее приведенная толщина $R_п$ должна быть больше приведенной толщины «узла питания» $R_у$, на котором она устанавливается.

Значения $R_п$ и $R_у$ (см. рис. 47) можно подсчитать при принятом соотношении $H_п : H_{отл}$. Приняв, что время затвердевания прибыли на 40 % больше времени затвердевания узла питания, находят необходимую толщину прибыли или ее диаметр, учитывая значения $R_п$ и $R_у$.

Толщину или диаметр прибыли (см. рис. 47) определяют тогда по следующим формулам:

$$D_п = \frac{3H_у D_у}{2H_у + D_у}; \qquad (35)$$

$$b_п = \frac{2H_у b_у}{H_у + b_у}, \qquad (36)$$

где $H_у$ — высота узла питания, мм.

Рассчитав по формулам (32) или (33) объем прибыли, а также ее диаметр (или ширину) и задавшись отношением $H_п : D_п$, определяют площадь поперечного сечения и высоту прибыли. Для определения размеров прибыли можно воспользоваться номограммами, составленными для конкретных условий литья.

Наибольшее распространение нашли номограммы, приведенные в работах Альтмана М. Б. Эти номограммы построены с использованием формул (33), (35) и (36).

В номограммах для расчета прибыли прямоугольного и круглого сечения при литье алюминиевых сплавов принято $k = 1/4$; $\beta = 0{,}035$. При определении размеров прибыли прямоугольного сечения в левой части номограммы (рис. 51) на шкале *I* находят точку *а*, соответствующую ширине узла питания, на котором устанавливается прибыль. Из точки *а* прямую, параллельную оси ординат, проводят до пересечения с кривой, соответствующей значению высоты узла, на котором ставится прибыль (шкала *II*). Из полученной точки *б* двигаются вправо параллельно шкале *I* до пересечения со шкалой *III* (точка *b*). В правой части номограммы на шкале *IV* находят точку *2*, соответствующую ширине узла питания, затем в направлении, указанном стрелкой, проводят прямую параллельно оси координат до пересечения с одной из наклонных линий, соответствующих значению высоты узла питания (шкала *V*). Из найденной точки *g* двигаются влево параллельно шкале *IV* до пересечения со шкалой *VI* (получают точку *е*). Цифра на шкале *VI* в точке *е* является минимально допустимой высотой прибыли. Через найденные на шкале *III* и *IV* точки *в* и *е* проводят прямую вправо до пересечения со шкалой *VII*. Цифра на шкале *VII* в найденной точке *ж* соответствует ширине прибыли. Длина прибыли должна быть равна длине узла питания.

Размеры круглой в сечении прибыли определяют по номограмме (рис. 52). Определение начинают с того, что в левой части номограммы на шкале *I* находят точку *а*, соответству-

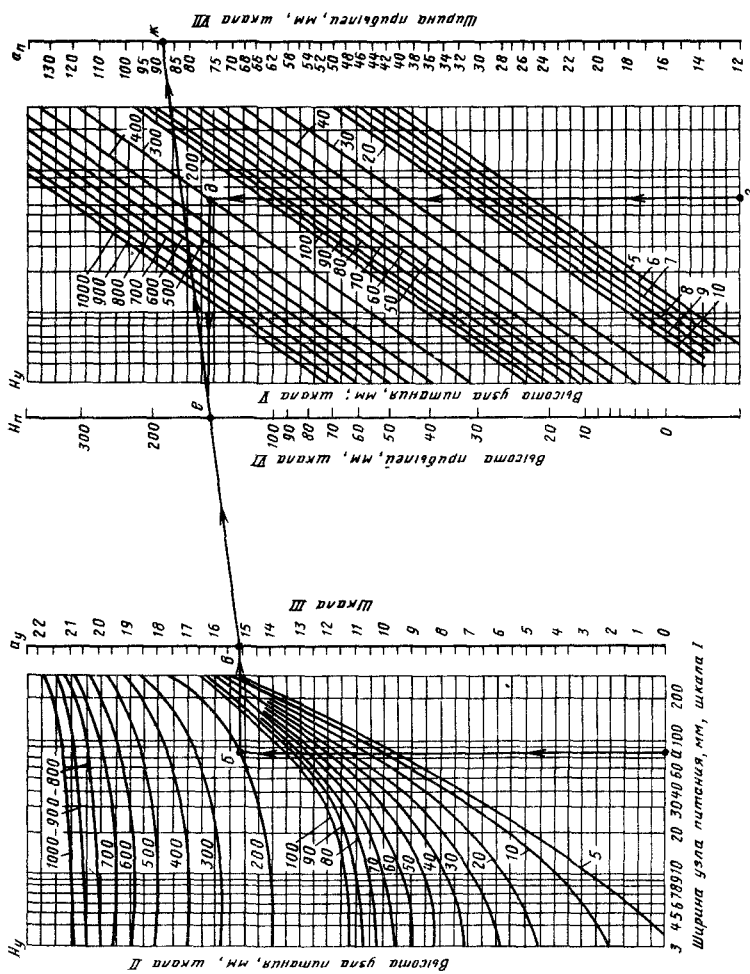


Рис. 51. Номограмма для определения размеров плоских прибылей для алюминиевых сплавов

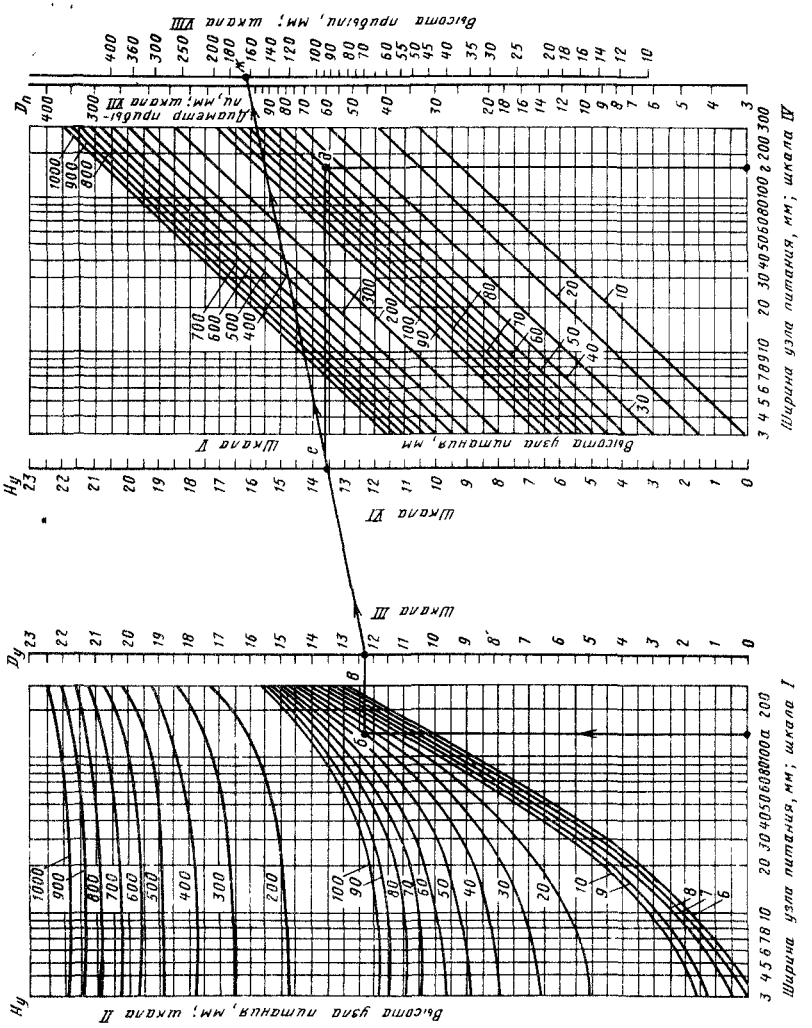


Рис. 52. Номограмма для определения размеров круглых прибылей для алюминиевых сплавов

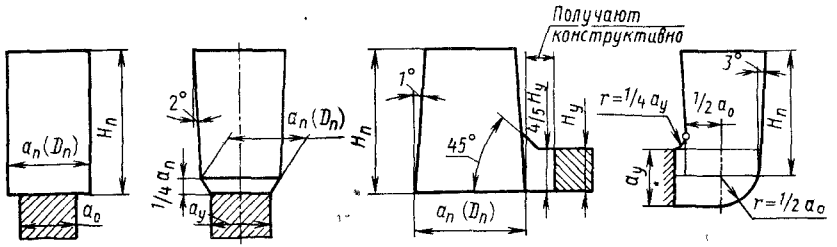


Рис. 53. Конструктивное построение прибылей

ющую диаметру узла питания, на которой устанавливается прибыль. Из точки *а* в направлении, указанном стрелкой, проводят прямую, параллельную оси координат, до пересечения с кривой, соответствующей значению высоты узла питания (шкала *II*). Из полученной точки *б* двигаются вправо параллельно шкале *I* до пересечения со шкалой *III* (получают точку *в*). В правой части номограммы на шкале *IV* находят точку *г*, по которой определяют далее ширину узла питания; далее поднимаются параллельно оси ординат до пересечения с одной из наклонных линий, соответствующих значению высоты узла питания (шкала *V*). Из полученной точки *д* двигаются влево параллельно шкале *IV* до пересечения со шкалой *VI* (получают точку *е*). Через найденные на шкалах *III* и *VI* точки *b* и *е* проводят прямую линию вправо до пересечения со шкалами *VII* и *VIII*. Найденная на шкале *VII* цифра дает значение диаметра прибыли, а точка *ж* на шкале *VIII* соответствует значению высоты прибыли.

При определении размеров прибылей для отливок из других сплавов номограммы корректируют, заменив в формулах (33)—(36) коэффициенты k и β соответствующими значениями для каждого сплава. После того как будут найдены основные размеры прибылей, переходят к их конструктивному оформлению (рис. 53).

При установке прибылей на узлы отливок с плоскими поверхностями под прибылью могут появляться трещины и рыхлоты (рис. 54, *а*), особенно при литье сплавов с широким интервалом кристаллизации. Чтобы избежать образования дефектов, необходимо увеличить размеры сечения прибыли в месте ее соединения с отливкой и выполнить его конструктивно, как показано на рис. 54, *б*.

Упрощенный метод определения размеров прибылей. При разработке технологии в условиях мелкосерийного производства и большой номенклатуры отливок возникает необходимость в упрощении метода расчета прибылей. Такой метод основан на следующих положениях.

Во-первых, для обычных отливок изменение массы узла питания в довольно широких пределах мало влияет на высоту прибыли. Во-вторых, высота прибылей мало возрастает с увеличением высоты отливки. Так, для легких сплавов при малой высоте отливки (до 150 мм) отношение высоты прибыли к высоте отливки без прибылей $H_п/H_{отл} \simeq 1$; при высоте отливки 300 мм это отношение равно 0,5, при высоте отливки 700 мм — 0,3. В-третьих, экспериментально и расчетом установлены соотношения между высотой прибылей и их диаметром.

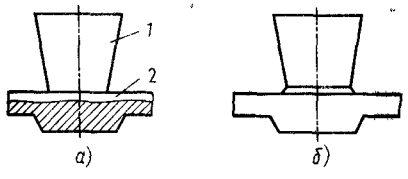


Рис. 54. Соединение прибыли с отливкой:

а — нерекомендуемое; *б* — рекомендуемое; *1* — прибыль; *2* — отливка

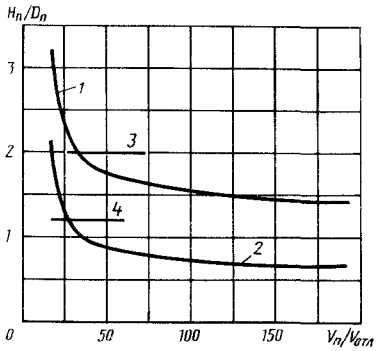


Рис. 55. Зависимость отношения объемов прибыли прямого действия и отливки от отношения высоты прибыли к диаметру:

1 — открытые прибыли; *2* — закрытые прибыли; *3* и *4* — отношения, выбранные для нормализованных прибылей соответственно открытых и закрытых

На рис. 55 представлена зависимость отношения высоты прибыли к диаметру от относительного объема прибыли, построенная с использованием равенства:

$$\frac{H_п}{D_п} = \sqrt{\frac{0{,}518m^2}{1 - \frac{1{,}163\,V_{отл}}{V_п}}},$$

где $H_п$ — высота прибыли; m — относительная скорость затвердевания металла с верхней поверхности прибыли; $D_п$ — диаметр прибыли; $V_{отл}$ — объем отливки; $V_п$ — объем прибыли.

Отношение $H_п/D_п$ изменяется в пределах 6,4—0,83 и в среднем равно 2,19, что характерно для всех сплавов. Для нормализованных прибылей можно принять постоянные отношения высоты к диаметру: 1,25 : 1 для закрытых прибылей и 2 : 1 для открытых прибылей (отношения на рис. 55 отмечены прямыми линиями *3* и *4*).

Таким образом, характеристику отливки, необходимую для выбора высоты прибыли, можно свести к одной величине — диаметру сферы $D_у$, вписанной в соответствующий узел

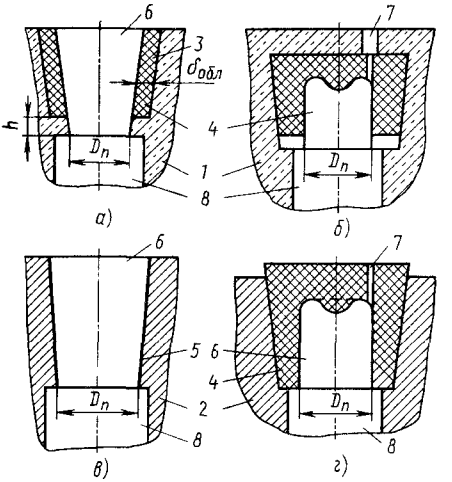


Рис. 56. Способы утепления прибылей при литье ($h = 0{,}1D_п$):

1 — песчаная форма; *2* — кокиль; *3* — облицовка из теплоизоляционной смеси; *4* — оболочка из теплоизоляционной смеси; *5* — листовой асбест; *6* — прибыль; *7* — выпор; *8* — отливка

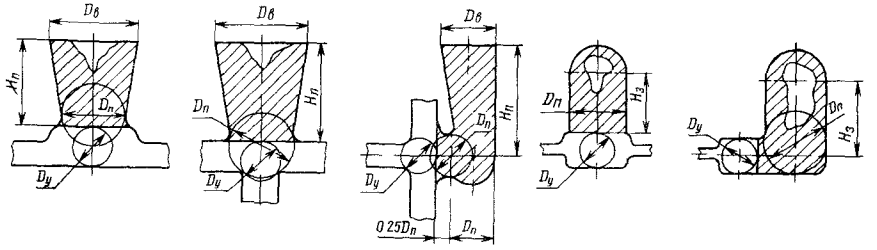
питания отливки. Диаметр узла питания определяют по табл. 18, находят отдельные размеры открытых, боковых и закрытых прибылей.

Теплоизолируемые прибыли. Теплоизоляцией можно повысить эффективность действия открытых и закрытых прибылей как при литье в песчаные (рис. 56, *а* и *б*), так и металлические (рис. 56, *в* и *г*) формы. В качестве изоляционных материалов применяют пористые вещества, имеющие малую теплопроводность и низкую плотность: керамические изделия, асбест, легковесный шамот, гипс, а также формовочные смеси с добавками древесных опилок, древесного угля или древесной муки.

Для достижения необходимого эффекта коэффициент теплопроводности материала прибыльной части формы должен быть примерно в 3 раза меньше, чем коэффициент теплопроводности материала, оформляющего отливку.

После расчета диаметра прибыли $D_п$ можно определить толщину облицовки прибыли (рис. 56, *а*) по приближенной

18. Соотношение размеров прибылей



Сплавы	Объемная усадка, %	Размеры прибылей			
		$D_п$	$D_в$	$H_п$	$H_в$
Медные:					
оловянные бронзы	4,5	(1,2÷1,5) $D_у$	(1,4÷1,6) $D_у$	(1,5÷2,0) $D_п$	(0,6÷0,8) $D_п$
алюминиевые бронзы и многокомпонентные латуни	6,5—7,5	(1,3÷1,6) $D_у$	(1,4÷1,7) $D_у$	(1,4÷2,0) $D_п$	(0,8÷1,0) $D_п$

Продолжение табл. 18

Сплавы	Объемная усадка, %	Размеры прибылей			
		$D_п$	$D_в$	$H_п$	$H_в$
Алюминиевые:					
кристаллизующиеся в интервале температур 0—15 °С (АЛ2)	3,8—4,1	$1{,}6D_у$	$(1{,}4 \div 1{,}5)\,D_п$	$(1{,}8 \div 2{,}0)\,D_п$	$(0{,}6 \div 2{,}0)\,D_п$
кристаллизующиеся в интервале 15—60 °С (АЛ4; АЛ9)	4,1—5,0	$1{,}4D_у$	$(1{,}4 \div 1{,}5)\,D_п$	$(1{,}8 \div 2{,}0)\,D_п$	$(0{,}6 \div 0{,}8)\,D_п$
кристаллизующиеся при температурах более 60 °С (АЛ1, АЛ3, АЛ5, АЛ6, АЛ7, АЛ12)	5,0—7,0	$1{,}2D_у$			
Магниевые:					
кристаллизующиеся в интервале температур 0—5 °С (МЛ2)	5,2—5,5	$(1{,}2 \div 1{,}6)\,D_п$	$(1{,}45 \div 1{,}55)\,D_п$	$(1{,}9 \div 2{,}1)\,D_п$	$(1{,}2 \div 1{,}4)\,D_п$
кристаллизующиеся в интервале температур 50—100 °С (МЛ3)	5,3—5,7				
кристаллизующиеся в интервале температур более 100 °С (МЛ4, МЛ5, МЛ6)	5,5—6,0				

Примечание. Для всех сплавов $l_п = 0{,}25D_п$.

формуле

$$\delta_{отл} = 20 + 0{,}2D_{п}.$$

При литье в песчаные формы прибыли обкладывают теплоизоляционным материалом при формовке, а для уменьшения тепловых потерь со стороны открытой части прибыли на зеркало металла наносят слой теплоизолирующей засыпки: сухой кварцевый песок, древесный уголь, кокс, шамотный порошок. Оптимальная толщина слоя засыпки составляет (0,08÷0,12) $D_{п}$. При литье в кокиль прибыль покрывают более толстым слоем теплоизолирующей краски или обклеивают листовым асбестом (рис. 56, *в*).

С целью экономии теплоизоляционных материалов из них изготовляют тонкостенные оболочки (стаканы, втулки, подставки), которые устанавливают в песчаную форму при ее изготовлении (рис. 56, *б*) или в кокиль (подставки) при его сборке (рис. 56, *г*). Для теплоизоляции прибылей при литье алюминиевых и медных сплавов широко применяют вспученный перлит или вспученный вермикулит, успешно конкурирующие с экзотермическими смесями. Вспученный перлит получают из минерала, представляющего собой кислое вулканическое стекло следующего состава, % (мас. доля): SiO_2 — 65—75; Al_2O_3 — 12—14; Fe_2O_3 — 1,5—2,5; CaO — 1,5—2,5; MgO — 1,5; конституционной воды до 5.

Химический состав вермикулита, % (мас. доля): MgO — 14—23; Fe_2O_3 — 5—17; Fe — 1—3; SiO_2 — 34—42; Al_2O_3 — 10—13; конституционной воды 8—12. Объемная масса вермикулита 0,07—0,1 г/см³

Перлит измельчают на щековой дробилке или в валковой мельнице и подвергают обжигу в шахтной печи при 950—1050 °С. При этом интенсивно выделяется влага. В результате объем зерен увеличивается в 8—10 раз, образуется легковесный материал с замкнутыми порами, обладающий высокими теплоизоляционными свойствами. Объемная масса вспученного перлита 0,15—0,20 г/см³, теплопроводность в насыпном состоянии 0,047—0,059 Вт/(м·°С). Теплоизоляционные смеси для оболочек готовятся в шнековом смесителе, в который сначала загружают вспученный перлит и глину, а после тщательного перемешивания добавляют едкий натр и жидкое стекло. Продолжительность перемешивания 3—5 мин.

Оболочки из теплоизоляционной смеси изготовляют в разъемных стержневых ящиках. После формовки оболочки продувают углекислотой и подвергают тепловой сушке при 300—350 °С в течение 3—4 ч. Заформованные и высушенные оболочки можно устанавливать на сырые и высушенные формы (рис. 57, *а*). При больших масштабах применения нормализованных прибылей для изготовления оболочек можно использовать горячеплакированные смеси следующего состава, % (мас. доля): песка кварцевого 100; термореактивной смолы 5—6; уротропина 0,35—0,6; борной кислоты 0,15. Для экономии материалов оболочки делают тонкостенными (8—12 мм), а чтобы улучшить теплоизоляцию между поверхностями прибыли и оболочки, оставляют гарантированный замкнутый воздушный зазор до 5 мм (рис 57, *б*). Благодаря малой теплоемкости и воздушному зазору оболочка быстро прогревается и кристалли-

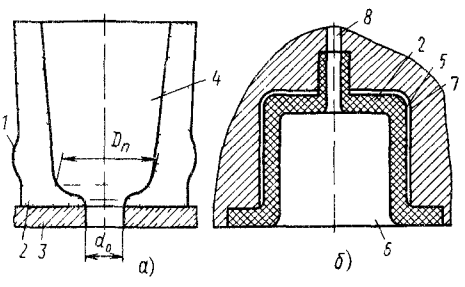


Рис. 57. Теплоизоляционные оболочки из вспученного перлита и горячеплакированной смеси:

1 — поясок для удержания оболочки *2* при кантовке; *3* — самоотвердевающая смесь; *4* — полость открытой прибыли, *5* — наружная поверхность полости закрытой прибыли; *6* — закрытая прибыль; *7* — воздушный зазор; *8* — выпор; d_0 — диаметр питающего отверстия прибыли

зация металла в них резко замедляется, что обеспечивает хорошее питание отливки.

Прибыли, обогреваемые экзотермическими смесями. Обогрев прибылей состоит в том, что в них металл поддерживается в жидком состоянии при температуре, близкой к температуре ликвидуса до окончания затвердевания теплового узла, питаемого прибылью. Поэтому экзотермическая смесь должна выделять такое количество теплоты и развивать такую температуру, чтобы нагреть слой, окружающий прибыль, выше температуры ликвидуса заливаемого расплава.

Основные требования к экзотермическим смесям следующие: низкая температура воспламенения; стабильное горение смеси с небольшой скоростью; увеличение не менее чем вдвое общего времени затвердевания прибылей с экзотермическими смесями по сравнению с необогреваемыми прибылями; хорошая тепловая изоляция смесей после завершения экзотермического процесса; отсутствие химического взаимодействия между металлом прибыли и смесью; отсутствие стабильного газовыделения при сгорании смеси, а также пироэффектов; хорошая формуемость и высокая прочность на всех стадиях процесса; отсутствие механического пригара; высокая газопроницаемость; недефицитность компонентов смесей, хорошие санитарно-гигиенические условия труда при использовании смесей.

Материалы для изготовления экзотермических смесей. Любая экзотермическая смесь состоит из горючего, окислителя, основы, ускорителя воспламенения (катализатора), замедлителя горения и связующего.

Теплота выделяется в результате окисления (горения) горючего кислородом оксида железа по реакции: $8Al + 3Fe_3O_4 = 4Al_2O_3 + 9Fe +$ + 3241 кДж. В качестве горючего используют: порошок алюминия, применяемый в состоянии поставки с размером зерна 0,6—1,5 мм; стружку алюминиево-магниевых сплавов [с содержанием, % (мас. доля): Al 53; Mg 47], предварительно обезжиренную, просушенную, дробленую и просеянную через сито с размером ячейки 1,6 мм. Зерна горючего крупнее 1,5 мм трудно воспламеняются, а мельче 0,6 мм больше окислены, следовательно, содержат меньше собственного горючего.

В качестве окислителя используют: гематитовую железную руду с содержанием оксидов железа не менее 80 % или железную окалину прокатных и кузнечных цехов. Железную руду просушивают, измельчают в шаровых мельницах или бегунах и просеивают через сито с размером ячейки 1,0 мм. Железную окалину, предварительно обезжиренную и просушенную при 350—400 °С, подвергают той же обработке, что и железную руду.

Основой смеси служат шамот в виде крошки с размером зерен 0,5—5 мм при литье любых сплавов; кварцевый песок при литье алюминиевых сплавов. Шамот в сочетании с продуктами реакции окисления (железом и окисью алюминия), а также связующим образуют вокруг прибыли неразрушающуюся, пористую, с низкой теплопроводностью оболочку.

Ускорителем воспламенения служит калиевая селитра, которая одновременно является и окислителем.

Замедлитель горения — материал, замедляющий реакцию окисления горючего в объеме смесей. Эту роль выполняют шамот, огнеупорная глина или гипс. Как правило, применяют два или три замедлителя горения. Горение в экзотермической смеси должно протекать спокойно и равномерно, не вызывая выплесков и «кипения» расплава в прибыли. Огнеупорную глину просушивают при 200—300 °С, размалывают и просеивают через сито с ячейками размером 1 мм.

Связующим являются: формовочная глина, жидкое стекло, сульфитно-спиртовая барда, гипс, крепитель 4ГУ.

Приготовление экзотермических смесей. В смешивающие бегуны с катками, поднятыми на 6—8 мм над днищем чаши, загружают: алюминиевый порошок, измельченную алюминиевую стружку, измельченный алюминиево-магниевый сплав, древесный уголь, калиевую селитру, древесные опилки, железную руду, железную окалину, молотый шамот, формовочную глину

и строительный гипс. Эти материалы перемешиваются в течение 3—5 мин. Затем добавляют воду и связующие материалы (сульфитно-спиртовую барду или крепитель 4ГУ) и вновь перемешивают в течение 3—5 мин. Готовая смесь перед употреблением вылеживается в течение 20—30 мин с целью уменьшения ее прилипаемости к стержневым ящикам и моделям. Допускается вторичное использование боя экзотермических облицовок, предварительно размолотого до зернистости не более 5 мм, в качестве добавки [10 % (мас. доля) свежеприготовленной смеси]. Облицовки из экзотермических смесей могут храниться до сушки не более 10 сут.

Влажность форм, заливаемых в сыром состоянии, при применении прибылей с экзотермическим обогревом не должна превышать 5,5 %. После заливки форм поверхность металла в прибыли рекомендуется присыпать отходами экзотермической смеси и поверх ее — сухим песком.

Экзотермические смеси должны обладать следующими свойствами: во влажном состоянии — газопроницаемостью 80, влажностью 8—13 %, пределом прочности при сжатии 0,03 МПа; в сухом состоянии — пределом прочности при растяжении 0,5 МПа. Температура сушки оболочек из смесей 180—220 °С.

Составы экзотермических смесей приведены в табл. 19. Смеси номеров 1—3 используют для литья тяжелых цветных сплавов, номеров 4—5 — легких цветных сплавов.

Для изготовления нижних частей изотермической оболочки (пластины, кольца) применяют стержневые смеси (табл. 20).

Смесь № 1 применяют для изготовления оболочек, используемых при заливке алюминиевых сплавов, а быстросохнущую смесь № 2 — при заливке тяжелых цветных сплавов, а также для изготовления разделительных стержней — диафрагм, закладываемых в основание легкоотделяемых прибылей.

Как и при теплоизоляции прибылей, экзотермические смеси применяют либо в виде облицовки прибылей, которую выполняют при формовке, либо в виде специальных оболочек (стаканов, втулок, надставок), изготавливаемых по стержневым ящикам. Экзотермические оболочки подвергают сушке, после чего их можно устанавливать как на сухие, так и на сырые формы.

19. Экзотермические смеси для облицовки прибылей

Номер смеси	Состав, % (мас. доля)							
	Алюминиево-магниевый сплав	Железная руда (окалина)	Калиевая селитра	Шамот	Огнеупорная глина	Строительный гипс	Древесный уголь	Древесные опилки
1	18	18	15	27	8	10	4	—
2	15	14	13	31	10	12	5	—
3	15	15	30	5	4	20	6	2
4	14	15	1	35	6	15	10	1
5	13	10	1	35	10	15	12	1

Примечания: 1. Смеси № 3—5 содержат дополнительно 3 % (мас. доля) алюминиевого порошка.

2. Воду в смеси вводят сверх 100 % сухих составляющих для обеспечения пластичности.

3. Связующий материал также вводят сверх 100 % для обеспечения необходимой прочности.

20. Стержневые смеси для изготовления нижних частей экзотермических оболочек

Компонент	Массовая доля компонента (%) для стержневой смеси	
	№ 1	№ 2
Песок кварцевый	90,0	90,0
Глина формовочная	3,0	2.5
Жидкое стекло (γ = = 1,22 г/см^3)	—	6,5
Едкий натр (10 %-ный)	—	1,0
Сульфитно-спиртовая барда	5,0	—
Крепитель 4ГУ	2,0	—

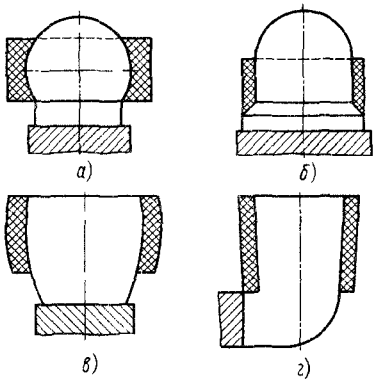


Рис. 58. Схемы установки экзотермических оболочек на прибылях

Помимо тех форм оболочек, которые приведены на рис. 56 и 57, оболочкам можно придавать и другие формы (рис. 58) и устанавливать их на шаровые прибыли (рис. 58, *а*), полушаровые (рис. 58, *б*), прибыли прямого действия с выпуклыми стенками (рис. 58, *в*) и бокового питания (рис. 58, *г*).

Конструкции и размеры наиболее распространенных экзотермических закрытых оболочек круглой и овальной формы приведены в табл. 21 и 22, открытых — в табл. 23.

Прибыли, работающие под атмосферным, газовым и воздушным давлениями. В закрытых прибылях при затвердевании отливки образуется корка металла, которая изолирует прибыль от атмосферы. Для повышения эффективности работы прибыли (рис. 59) в ее полость при формовке устанавливают песчаный стержень, через который воздух проникает в прибыль и оказывает давление на расплав, улучшая питание отливки. Рекомендуемая высота $h_в$ заглубления песчаного стержня в прибыль составляет $h_в = 0{,}18D_п + 7$ мм.

В прибылях с газовым давлением используют газотворные вещества: углекислый кальций, углекислый магний, углекислый цинк, углекислый барий (табл. 24).

При сборке формы в полость прибыли устанавливают патрон с зарядом газотворного вещества. Величина заряда зависит от объема прибыли. При образовании достаточно прочной затвердевающей корки вокруг наружной поверхности прибыли металлическая оболочка патрона расплавляется и газотворное вещество начинает разлагаться с выделением углекислого газа. В прибыли создается избыточное давление, которое способствует проникновению расплава на прибыли в отливку. Создать давление на расплав

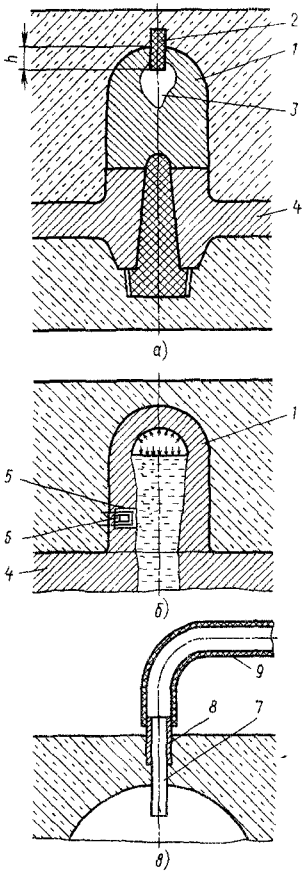
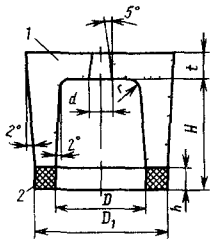


Рис. 59. Прибыли, работающие под атмосферным (*а*), газовым (*б*) и воздушным (*в*) давлением:

***1* — прибыль; *2* — песчаный стержень; *3* — усадочная раковина; *4* — отливка; *5* — патрон; *6* — заряд; *7* — трубка; *8* — втулка; *9* — шланг**

21. Размеры (мм) цельных экзотермических стаканов

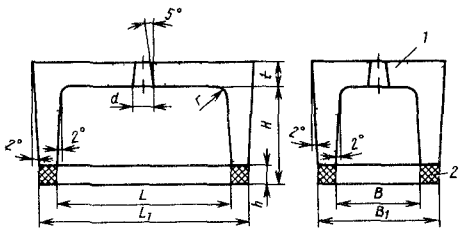
Круглые стаканы



1 — стакан; *2* — пластина

D	D_1	H	t	h	r	d
60	95	70	17	20	6	10
80	117	90	18	20	8	15
100	140	110	20	30	12	15
110	150	125	20	30	12	20
125	170	140	22	30	12	20
140	180	160	23	40	16	20
160	210	180	25	40	16	30
180	233	200	26	40	16	30
200	256	225	28	40	22	30

Овальные стаканы

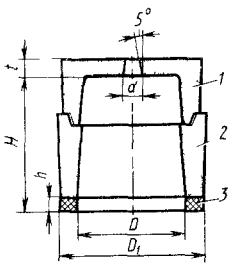


1 — стакан; *2* — пластина

B	B_1	L	L_1	H	t	h	r	d
60	100	120	160	70	17	20	6	15
80	125	160	205	90	18	20	8	20
100	150	200	250	110	20	30	12	20
110	164	220	275	125	20	30	12	25
125	183	250	308	140	22	30	12	25
140	202	280	342	160	23	40	16	25
160	227	320	387	180	25	40	16	35
180	252	360	432	200	26	40	22	35

22. Размеры (мм) составных экзотермических стаканов

Круглые стаканы

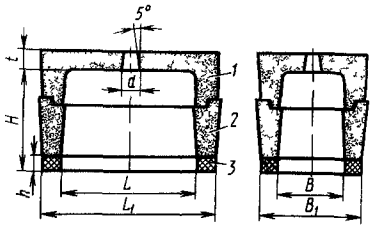


1 и *2* — секции стакана соответственно верхняя и нижняя; *3* — пластина

D	D_1	H	t	h	d
315	390	350	35	50	50
350	430	400	40	60	60
400	488	450	45	60	60

Продолжение табл. 22

Овальные стаканы

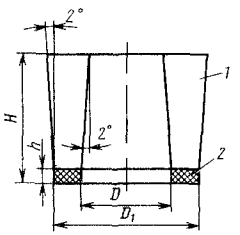


1 и *2* — секции стакана соответственно верхняя и нижняя; *3* — пластина

B	B_1	L	L_1	H	t	h	d
225	310	450	535	250	42	50	50
250	342	500	592	280	46	50	50
280	380	560	660	315	50	60	60

23. Размеры (мм) экзотермических втулок

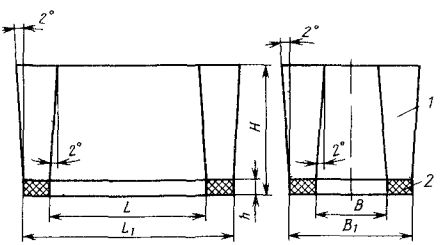
Круглые втулки



1 — втулка; *2* — пластина

D	D_1	H	h
60	98	100	20
80	120	100	20
100	144	100	30
125	174	150	30
160	216	200	40
200	264	200	40

Овальные втулки



1 — втулка; *2* — пластина

B	B_1	L	L_1	H	h
60	104	120	164	100	20
80	130	160	210	100	20
100	156	200	256	100	20
125	190	260	315	150	30
160	236	320	396	200	40

24. Газотворные вещества для прибылей

Газотворное вещество	Относительная молекулярная масса	Температура диссоциации, °С	Реакция диссоциации
Углекислый кальций $CaCO_3$	109,09	825	$CaCO_3 = CaO + CO_2$
Углекислый магний $MgCO_3$	84,33	350	$MgCO_3 = MgO + CO_2$
Углекислый цинк $ZnCO_3$	125,39	300	$ZnCO_3 = ZnO + CO_2$
Углекислый барий $BaCO_3$	197,35	1100	$BaCO_3 = BaO + CO_2$

внутри прибыли можно также сжатым воздухом, который вводят в прибыль по гибкому шлангу, надетому на стальную трубку. В стальную трубку вставляют керамическую втулку с несколькими отверстиями по сечению, которая входит в полость прибыли.

Схемы установки песчаных стержней в различных конструкциях прибылей приведены на рис. 60. По аналогичным схемам устанавливаются также патроны в прибылях газового давления. Кроме того, песчаные стержни и пат-

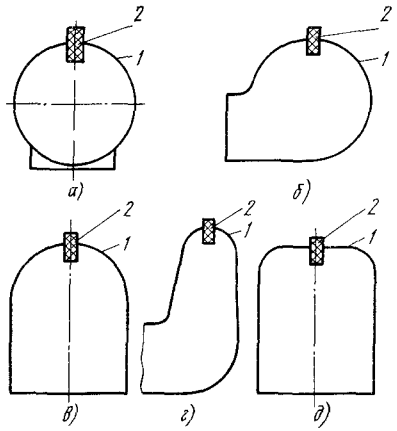


Рис. 60. Схемы установки песчаных стержней в прибыли прямого действия (*а*, *в* и *д*) и бокового питания (*б* и *г*):
а и *б* — шаровые; *в* и *г* — полушаровые; *д* — цилиндрические; *1* — прибыль; *2* — песчаный стержень

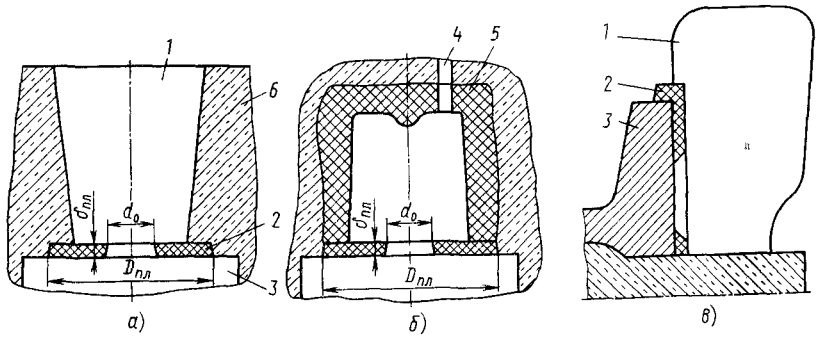


Рис. 61. Схемы легкоотделяемых прибылей:
а — открытая неутепленная; *б* — закрытая утепленная; *в* — боковая закрытая; *1* — прибыль; *2* — пластина; *3* — отливка; *4* — выпор; *5* — экзотермическая смесь; *6* — форма

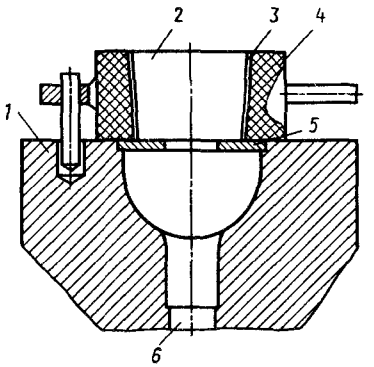


Рис. 62. Кокиль с легкоотделяемой прибылью:

1 — кокиль; *2* — полость прибыли; *3* — асбест; *4* — надставка; *5* — разделительная пластина; *6* — отливка

роны газового давления в этих прибылях могут быть установлены сбоку (см. рис. 59, *б*).

Легкоотделяемые прибыли или отбиваемые прибыли могут быть открытыми и закрытыми, неутепленными и утепленными (рис. 61). В кокиле, как правило, легкоотделяемые прибыли выполняют открытыми (рис. 62). Пластины для легкоотделяемых прибылей изготовляют из стержневых смесей, применяемых при литье соответствующих сплавов (табл. 25). Пластины должны быть негазотворными, но иметь хорошую газопроницаемость.

Наружный диаметр пластины $D_{пл}$ принимают на 20—30 мм больше диаметра прибыли у основания $D_п$. Кон-

25. Типовые размеры (мм) пластин из стержневых смесей для легкоотделяемых прибылей

Диаметр прибыли, $D_п$, мм	Толщина пластины $\delta_{пл}$	Диаметр питающего отверстия d_0
До 50	5—6	20
51—100	8	26
101—150	12	30
151—200	20	36
201—300	26	50

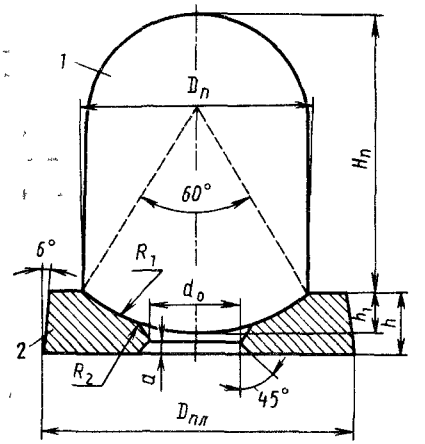


Рис. 63. Конструктивное построение закрытой легкоотделяемой прибыли: *1* — прибыль; *2* — пластина; $D_{пл} = 1{,}3D_п$; $d_0 = 0{,}4D_п$; $h = h_1 + 2a$; $h_1 = 0{,}12D_п$; $a = 0{,}4\sqrt{D_п}$; $R_1 = 0{,}45D_п$; $R_2 = 0{,}5d_0$

структивное построение легкоотделяемой закрытой прибыли приведено на рис. 63.

3. Холодильники

Холодильниками называют металлические вставки, помещаемые в форму или стержень с целью ускорения охлаждения отдельных массивных внутренних или наружных частей отливки и обеспечения ее направленного затвердевания. По месту установки в форме холодильники подразделяют на внешние и внутренние (расплавляемые).

Внутренние холодильники применяют только для неокисляющихся медных сплавов, главным образом оловянных бронз, латуней и некоторых других сплавов. Для алюминиевых, магниевых и медных сплавов, содержащих алюминий или другие компоненты, образующие на поверхности холодильников нерастворимые окислы, внутренние холодильники не применяют.

Холодильники изготовляются из стали, чугуна, медных и алюминиевых

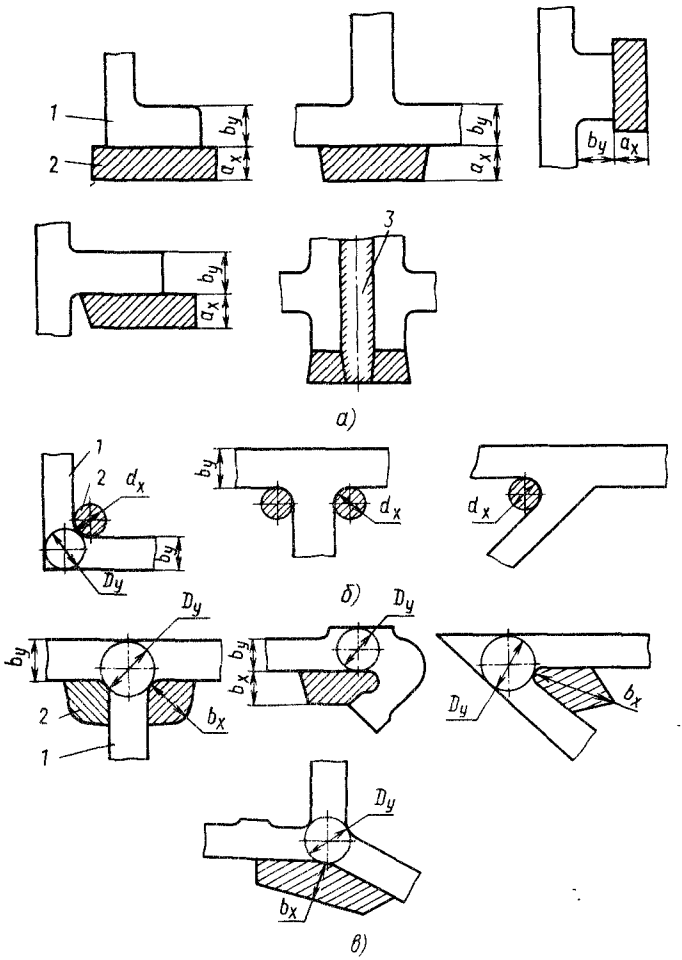


Рис. 64. Схемы расположения плоских (*а*), круглых (*б*) и фасонных (*в*) холодильников на термических узлах отливок:
1 — отливка; *2* — холодильник; *3* — стержень; $a_x = (0{,}6 \div 1{,}25)\, b_y$; $d_x = (0{,}6 \div 1{,}25)\, D_y$; $b_x = (0{,}6 \div 1{,}25)\, D_y$

сплавов и графита. Холодильники получают из проката или литьем. Захолаживающий эффект холодильника зависит от его массы и коэффициента теплоемкости его материала. Масса холодильника должна составлять не более 12—15 % массы захолаживаемого узла. Конфигурация и расположение холодильников на термических узлах отливок приведены на рис. 64, а влияние внешних и внутренних холодильников на устранение усадочных раковин — на рис. 65.

Толщина (a_x, b_x) или диаметр (d_x) холодильников находятся в зависимости от толщины (b_y) или диаметра

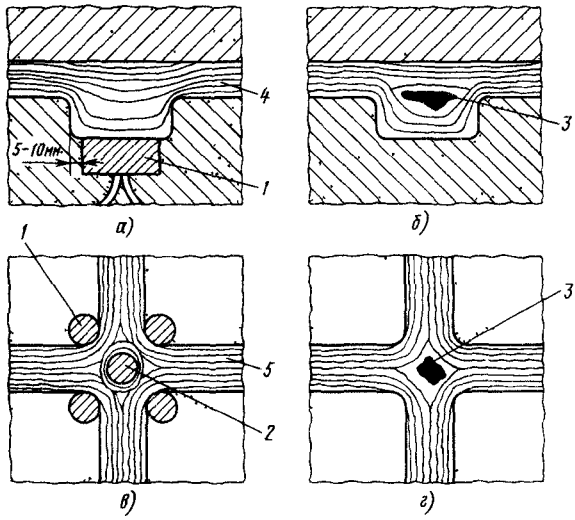


Рис 65. Устранение усадочных раковин с помощью холодильников:
а и *в* — отливки без усадочных раковин, *б* и *г* — отливки с усадочными раковинами, *1* — наружный холодильник, *2* — внутренний холодильник, *3* — усадочная раковина, *4* — изотерма изосолидусы, *5* — отливка

($D_у$) захолаживаемого узла отливки. Меньшее значение коэффициента принимают для холодильников, изготовляемых из медных сплавов и стали, среднее — из чугуна и большее — из алюминиевых сплавов и графита

При литье в песчаные формы для захолаживания отдельных частей отливок иногда применяют формовочные смеси с повышенной теплоаккумулирующей способностью В состав смесей вводят графит, корунд, хромистый железняк, колотую дробь, асбестовую крошку и др

Перед установкой в форму поверхности холодильников подвергают дробеструйной очистке, наносят на них тонкий слой крепителя и обсыпают песком После этого холодильники проходят подсушку Для повышения чистоты поверхности отливки поверхность холодильников после дробеструйной обработки может покрываться различными составами красок с хорошей газопроницаемостью Часто для этой цели используют кокильные краски

4. Этапы проектирования и освоения литейной технологии

При проектировании технологического процесса изготовления отливки из всех возможных вариантов необходимо выбрать такой, который обеспечил бы наиболее высокие технико-экономические показатели производства высокое качество отливок, их соответствие требованиям ТУ при наименьшей стоимости, высокую производительность при благоприятных условиях труда, наименьшую металлоемкость отливок за счет повышения их точности и минимальные припуски на обработку резанием, низкие расходы топлива, электроэнергии и вспомогательных материалов, максимальное использовани имеющегося оборудования и оснастки, высокий съем с одного квадратного метра производственной площади

Работа по проектированию литейной технологии может быть начата при наличии комплекта чертежей литых

деталей на узел или изделие. Полный объем работы содержит следующие основные этапы: анализ чертежа литой детали, разработку чертежа отливки, разработку технологического процесса, проектирование оснастки, освоение технологического процесса изготовления отливки, а при необходимости и моделирование отдельных его этапов, корректирование технологического процесса по результатам его опытной проверки, оформление технологического процесса.

Анализ чертежа литой детали. На этом этапе тщательно изучают назначение отливки, технологические требования к ней при изготовлении и эксплуатации, выявляют дополнительные резервы улучшения технологичности конструкции, уточняют состав литейного сплава, окончательно выбирают не только способ литья, но и его конкретную модификацию применительно к техническим условиям на деталь, литейным свойствам сплава, конкретным условиям производства, уровню его комплексной механизации и автоматизации.

Выбранный способ изготовления опытного образца отливки должен совпадать со способом ее серийного производства, что обеспечит возможность полной отработки технологичности конструкции отливки и параметров технологического процесса на начальной стадии проектирования нового изделия и сократит тем самым сроки его освоения.

По результатам проделанной работы на этом этапе в чертеж детали при необходимости вносят изменения, способствующие повышению технологичности конструкции, снижению ее металлоемкости и улучшению технико-экономических показателей изготовления детали в целом.

Разработка чертежа отливки. В массовом, крупносерийном и среднесерийном производстве разрабатывают специальный чертеж отливки, на котором изображают литую деталь с учетом припусков на обработку резанием, технологических напусков и уклонов. Чертежи оформляются по ГОСТ 2.423—73.

Разработка технологического процесса. На этом этапе технолог-разработчик технологического процесса выдает все технические указания, необходимые для проектирования и изготовления основной (модели, стержневые ящики, литейные формы) и вспомогательной (опоки, подмодельные плиты, шаблоны, стержневые каркасы и т. д.) литейной оснастки, рассчитывает и назначает размеры литниково-питающих систем, определяет технологические параметры и оборудование для всего цикла изготовления отливки, включая операции контроля и предъявление готовой отливки ОТК.

Разработка технологического процесса начинается с выбора положения отливки в форме и при заливке. Положение отливки в форме во многом определяет конструкцию (тип) литниковой системы, размещение на отливке прибылей, существенно влияет на трудоемкость изготовления формы и в решающей степени — на качество отливки.

Каждый из способов литья имеет свои характерные особенности, которые надо учитывать при определении положения отливки в форме и при заливке. Однако при выборе рационального положения отливок в формах, заливаемых под напором стояка (литье в песчаные и оболочковые формы, в кокиль и частично по выплавляемым моделям), можно исходить из общих положений, характерных для всех указанных способов литья. Некоторые из этих общих положений были рассмотрены ранее.

При выборе положения отливок в форме необходимо учитывать также следующие факторы:

возможность направленного удаления воздуха и газов из формы при заполнении ее расплавом;

удобство размещения разветвленной литниковой системы и прибылей при кратчайшем пути прохождения металла до отливки;

образование рабочей полости формы при минимальном числе стержней, отъемных частей и вкладышей, надежное их крепление при сборке и заливке, а также удобное извлечение затвердевшей отливки из формы;

расположение в одной полуформе поверхностей отливок, являющихся

базами для обработки резанием;

предпочтительное расположение цилиндрических отливок (цилиндры, барабаны, втулки и т. п.) вертикально; плоских отливок (рамы, крышки, плиты) — на ребро; чашеобразных отливок — днищем вверх.

При определении поверхности разъема формы (литье в песчаные и оболочковые формы и кокиль) следует пользоваться следующими правилами:

располагать всю отливку, если позволяет ее конструкция, в одной нижней части формы, при этом исключается перекос поверхностей, повышается точность изготовления отливки;

предпочтение отдавать горизонтальной поверхности разъема формы при заливке;

поверхность разъема формы не должна препятствовать извлечению модели (отливки) из формы;

форма должна иметь минимальное число стержней по возможности простой конфигурации;

выбранный разъем формы должен обеспечивать удобство уплотнения и сборки формы, надежность установки стержней и возможность контроля их при установке в форму;

при формовке в почве основные части отливки должны быть расположены только в нижней части формы.

Новую оснастку проектируют в тех случаях, когда для изготовления отливки технически невозможно или экономически нецелесообразно использовать имеющуюся литейную оснастку при изготовлении отливок специальными способами литья, так как применение индивидуальных литейных форм является неизбежным, а также при серийном изготовлении отливок, когда требуется периодическое тиражирование всей номенклатуры или части литейной оснастки.

Чертежи на литейную оснастку оформляют в соответствии с требованиями ГОСТов на оснастку, а также ГОСТов ЕСТД и ЕСКД.

На этапе освоения технологического процесса отрабатывают все установленные в нем параметры и режимы изготовления отливки; различными методами контроля, испытаний и исследования изучают свойства и качество опытных отливок и устанавливают их соответствие требованиям чертежа и техническим условиям. При необходимости на этом этапе выполняют моделирование гидравлических, тепловых или других процессов изготовления отливки.

При соответствии размеров и качества отливки требованиям чертежа и техническим условиям оформляют акт на освоение технологического процесса. Форма акта приведена в ГОСТ 3.1113—79.

На заключительном этапе разработки литейной технологии окончательно оформляют технологический процесс с внесением в него всех уточнений по параметрам и режимам, составу и рецептуре вспомогательных материалов, методикам и порядку выполнения отдельных технологических операций, необходимость в которых была выявлена при изготовлении опытных отливок.

5. Требования к оформлению технологической документации

В зависимости от условий производства (единичное, мелкосерийное, среднесерийное и т. д.) ГОСТ 3.1118—82 предусматривает маршрутное, маршрутно-операционное и операционное описание технологического процесса (ТП) на маршрутных картах (МК) различной формы.

При маршрутном и маршрутно-операционном описании технологического процесса МК является одним из основных документов, содержащим описание всего процесса в технологической последовательности выполнения операций.

При операционном описании технологического процесса МК выполняет роль сводного документа, в котором указывают адресную информацию (номер цеха, участка, рабочего места, операции), наименование операции, перечень документов, применяемых при выполнении операции, технологическое оборудование и трудозатраты.

Разработанная технологическая документация должна соответствовать требованиям ГОСТ 2.103—68 и ГОСТ

3.1103—82 в части графических и текстовых документов, которые отдельно или в совокупности определяют технологический процесс, включая контроль и перемещение деталей. Основные термины и определения в области технологической оснастки должны соответствовать ГОСТ 17819—84, в области процессов литейного производства — ГОСТ 18169—86, буквенные обозначения — ГОСТ 2.321—84.

Оформление чертежа элементов литейной формы. Разработку технологического процесса изготовления отливки начинают с нанесения на копию чертежа детали припусков на обработку резанием, всех построений модели, ее основных частей, элементов литниковой системы и прибылей, холодильников. Отдельно выполняют чертежи собранной формы, монтажа, моделей на подмодельной плите, типовых и нормализованных элементов модельной оснастки, сложных стержней, вспомогательной оснастки (сложных каркасов, шаблонов, сушильных плит, приспособлений для зачистки, контроля, сборки стержней и т. д.). В чертеж вносят все необходимые данные для изготовления модельного комплекта, литейной формы и приемки отливки.

Такой чертеж в соответствии с ГОСТом называют чертежом литейной формы, и он является приложением к технологической документации. Чертеж используют как основной руководящий технический материал работники модельного и литейного цехов (участков), участвующие в производственном процессе изготовления отливки, а также приемщики ОТК.

При крупносерийном и массовом производстве или при изготовлении крупных отливок чертеж элементов литейной формы выполняют на копии предварительно разработанного чертежа отливки. Для большинства специальных видов литья (в кокиль, под давлением и т. д.), как правило, кроме чертежа отливки разрабатывают чертеж литейной формы, а для оболочкового литья — размещение отливок и литниковой системы на плите.

Чертежи элементов литейной формы выполняют в двух вариантах — в черно-белом или цветном изображении. В условии единичного, опытного и мелкосерийного производства, когда нет необходимости в размножении чертежа элементов литейной формы, последний чаще всего оформляют на светокопии рабочего чертежа детали, используя цветные карандаши или цветную тушь, поскольку модельщику более удобно работать с таким чертежом. В условиях массового и крупносерийного производства, когда необходимо тиражировать копии чертежа, чертеж элементов литейной формы оформляют на светокопии чертежа детали или отливки с последующим переводом на кальку.

При цветном варианте выполнения чертежа для изображения отдельных элементов формы применяют следующие цвета:

Синий	Плоскость разъема модели и формы, контуры стержней и их знаков
Красный . . .	Контуры литниковых каналов, прибылей и выпоров
Зеленый . . .	Контуры холодильников
Красный . . .	Контуры припусков на механическую обработку резанием и технологических напусков
Коричневый	Линии разъема отъемных частей модели

На рис. 66 дан пример нанесения на чертеж отливки технологических указаний, выдаваемых технологом при разработке чертежа элементов литейной формы. Разъем модели и формы обозначают на чертеже отливки во всех ее проекциях жирной линией и проставляют буквы МФ. Положение отливки при заливке отмечают стрелками, отходящими от линии разъема формы, с указанием верха (В) и низа (Н). При неразъемной модели указывают только разъем формы — Ф. При отсутствии на детали конструктивных уклонов технолог-литейщик на чертеже элементов литейной формы проставляет литейные уклоны, которые выполняют на модели или литейной форме.

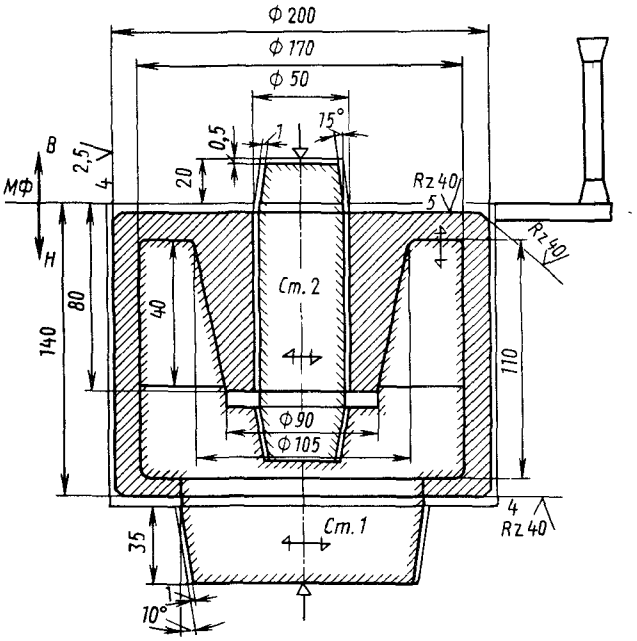


Рис. 66. Нанесение технологических указаний на чертеж отливки для детали «Поршень»

Усадка отливок отличается от усадки литейных сплавов. Наибольшую усадку имеют отливки простой конфигурации, так как этой усадке ничто не препятствует. Поэтому литейную усадку отдельных элементов отливки назначают, исходя из линейной усадки сплавов (%) и характера самой усадки (затрудненная и незатрудненная). Литейную усадку сложных отливок определяют опытным путем и учитывают при корректировании рабочих размеров модельного комплекта или литейных форм.

Припуски на обработку резанием наносят на чертеж детали сплошными тонкими линиями и штрихуют только в плоскости разреза. Под знаками обработки цифрами указывают припуск на обработку резанием. Отверстия, не выполняемые в отливках, перечеркивают тонкой линией, а в разрезе штрихуют только у контурных линий.

Места установки стержней определяют по чертежу детали (отливки). Затем намечают предварительные границы между основными стержнями, определяют назначение каждого стержня, условия их изготовления, число стержней, способ изготовления, конструкции каркасов и вентиляции, состав смеси, условия сушки, контуры и размеры знаков, а также зазоры по контуру знаков для каждого стержня.

Контуры стержней наносят на чертеже литейной формы сплошными тонкими линиями. Стержни в разрезе штрихуют только у контурных линий. Зазоры между знаками формы и стержней указывают на чертеже только в случае отклонений от рекомендуемых ГОСТом или нормалями.

Места соединения стержней друг с другом обозначают на чертеже жирной или двойной тонкой линией. Номер стержня соответствует порядковому номеру при установке его в форму; проставляется на чертеже в центре стержня, например *Ст. 5*.

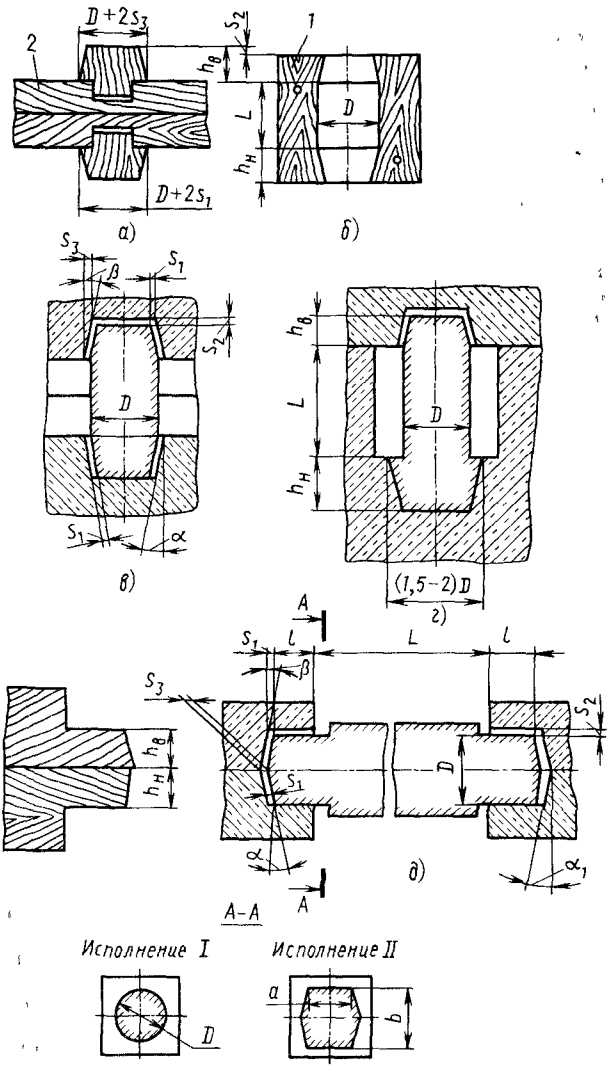


Рис. 67. Размеры вертикальных и горизонтальных знаков песчаных стержней: *а* — знаковые части модели; *б* — знаковые части стержневого ящика; *в*, *г* и *д* — зазоры в форме для вертикальных (*в* и *г*) и горизонтальных (*д*) знаков стержней

Стержни, изготовленные в одном ящике с вкладышами и без них, обозначают одинаковыми порядковыми номерами, но с добавлением индекса (например, *1*, *1а*, *2*, *2а* и т. д.). Плоскость набивки стержней указывают стрелкой, а плоскость разъема стержневого ящика знаком ⊣⊢.

Размеры и конфигурацию знаковых частей стержней назначают по ГОСТ 3606—80 с учетом размеров стержня,

способа формовки и его положения в форме (рис. 67). Высоту $h_н$ нижних стержневых знаков выбирают в зависимости от длины L стержня и его диаметра D или от величины $(a + b)/2$ для стержней прямоугольного сечения (табл. 26). Высоту $h_в$ верхних стержневых знаков вертикальных стержней принимают равной не более $0{,}5h_н$ нижних вертикальных знаков. Длины l горизонтальных стержневых знаков приведены в табл. 27, формовочные уклоны знаковых частей в зависимости от высоты $h_н$ или $h_в$ — в табл. 28; рекомендуемые зазоры s_1 между знаками поверхности формы и стержней — в табл. 29. Диаметр и ширину основания знаков модели *2* делают больше соответствующего размера стержневого ящика *1* на удвоенную величину *зазора* s_1 (*для нижнего знака*) *или* $s_3 =$ $= 1{,}5$ (для верхнего знака). Высота $h_в$ верхнего знака модели должна превышать высоту знака стержня на величину s_2.

Размеры литниковой и вентиляционной систем и прибылей определяют с учетом свойств сплава, размеров и назначения отливки, используя рекомендации, изложенные ранее. Основные требования по ГОСТ 2.423—73 к изображению на чертеже элементов литейной формы литниковой системы и прибылей сводятся к следующему.

Контуры построений прибылей и элементов литниковой системы наносят на чертеже сплошными тонкими линиями без указания в плане линий, показывающих различие в размерах нижнего и верхнего оснований литниковых каналов, обусловленное наличием формовочных уклонов и конусов. Все построения литниковой системы выполняют в масштабе. Это облегчает определение контура литниковой системы, *расположение стояков, питателей* и других элементов. Число проекций элементов литниковой системы должно быть таким, чтобы при пользовании чертежом было полное представление о каждом элементе и расположении его относительно модели.

Как правило, элементы литниковой системы наносят на основных проекциях, т. е. продольном и поперечном разрезах и виде сверху или снизу. Для пояснения отдельных мест литниковой системы дают дополнительные сечения и разрезы ее элементов, которые выполняют на свободном поле чертежа. Здесь же указываются необходимые надписи о размерах, количестве и площадях поперечных сечений элементов системы. В тех случаях, когда построение элементов литниковой системы приведено на схеме расположения модели на подмодельной плите, например при литье в оболочковые формы или машинной формовке, и эту схему прилагают к чертежу элементов литейной формы, то в последнем дают ссылку на эту схему и показывают лишь места подвода питателей.

В качестве примера, иллюстрирующего описанный способ нанесения контуров литниковой системы, на рис. 68 приведен чертеж элементов литейной формы *для получения тройника* с габаритными размерами $250 \times 120 \times$ $\times 160$ мм. На этом чертеже, в отличие от чертежа детали, для улучшения наглядности элементов литниковой системы основные размеры самой детали опущены.

Оформление карт технологического процесса. В соответствии с ГОСТ 3.1401—85 на технологические процессы изготовления литых деталей разрабатывают карты технической информации (КТИ). Для каждого способа литья, включая процессы изготовления стержней и обработки отливок, ГОСТ 3.1401—85 предусматривает специальные формы документов и устанавливает правила заполнения отдельных граф.

В КТИ указывают: наименование, номер чертежа литой детали, массу отливки, которую определяют как расчетную массу детали с добавлением массы припусков на обработку, массу жидкого сплава на отливку с учетом массы литниковой системы и прибылей, марку сплава и номер шихты по нормалям предприятия, температуру заливки и температуру металлической формы, режимы охлаждения и термической обработки, температурные режимы процесса, способы изготовления формы и применяемые при этом вспомогательные материалы, содержание всех технологических операций и применяемые при этом вспомогательный инструмент, основной инструмент

26. Высота $h_н$ (мм) нижних вертикальных знаков стержней для сырых, сухих и твердеющих в контакте с оснасткой форм (по ГОСТ 3606—80)

Размеры стержня $(a + b)/2$ или D_1 (свыше—до), мм	Высота $h_н$ знака, не более, при длине L стержня (свыше—до), мм							
	До 50	50—80	80—120	120—180	180—250	250—315	315—400	400—500
До 30	20	30	30	—	—	—	—	—
30—50	20	35	35	35	50	60	60	70
50—80	25	35	35	35	40	50	60	70
80—120	25	35	35	35	40	50	60	70
120—180	30	35	35	35	35	40	50	60
180—250	30	35	35	35	35	40	50	60
250—315	35	35	35	35	35	40	50	60
315—400	40	40	40	40	40	40	40	50

27. Длина l (мм) горизонтальных знаков стержней (по ГОСТ 3606—80)

Размеры стержня $(a + b)/2$ или D (свыше—до), мм	Тип формы	Длина l знака, не более, при L стержня (свыше—до), мм							
		До 50	50—80	80—120	120—180	180—250	250—315	315—400	400—500
До 30	I	20	25	30	35	—	—	—	—
	II	15	20	30	35	—	—	—	—
	III	10	15	20	25	—	—	—	—
30—50	I	20	25	30	35	45	50	—	—
	II	20	25	30	35	40	45	—	—
	III	10	15	20	30	35	—	—	—
50—80	I	20	25	30	40	50	55	60	70
	II	20	25	30	35	40	45	—	—
	III	10	15	20	25	30	35	35	40
80—120	I	20	25	35	45	55	60	70	80
	II	25	30	35	40	45	50	55	60
	III	15	20	30	30	35	40	40	45

Условные обозначения форм: I — сырые; II — сухие; III — твердеющие в контакте с оснасткой.

28. Формовочные уклоны на знаковых частях стержня

$h_н$ или $h_в$ (свыше—до), мм	α	β	α_1
	... °		
До 30	10	15	4
30—50	7	10	3
50—80	6	8	2
80—120	6	8	2
120—180	5	6	1
180—250	5	6	0

и оборудование, правила проверки первой отливки и т. д. В КТИ вносят также нормы времени, разряд работы и расценки на выполнение определенных операций.

Обязательным при разработке технологического процесса является оформление карты эскизов. Иногда такая карта составляется и для отдельных операций и переходов. Построение элементов литейной формы на карте эскизов принципиально не отличается от их построения на чертеже элементов литейной формы. Эскиз можно выполнить от руки, без соблюдения масштаба. В качестве примера пост-

29. Зазоры (мм) между знаками формы и стержня (на сторону) (по ГОСТ 3606—80)

Высота знака $h_н$ или $h_в$ (свыше—до), мм	Тип модельного комплекта	Зазор s_1 при длине стержня l (свыше—до), мм							
		До 50	50—80	80—120	120—180	180—250	250—315	315—400	400—500
До 30	I	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
	II	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
	III	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	IV	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
30—50	I	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
	II	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9
	III	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5
	IV	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
50—80	I	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
	II	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9
	III	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	IV	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5
80—120	I	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
	II	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9
	III	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
	IV	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5

Условные обозначения модельных комплектов: I—1 и 2-го классов точности из металла и пластмассы; II—3-го класса точности из металла и пластмассы и 1-го класса точности из дерева; III—2-го класса точности из дерева; IV—3-го класса точности из дерева.

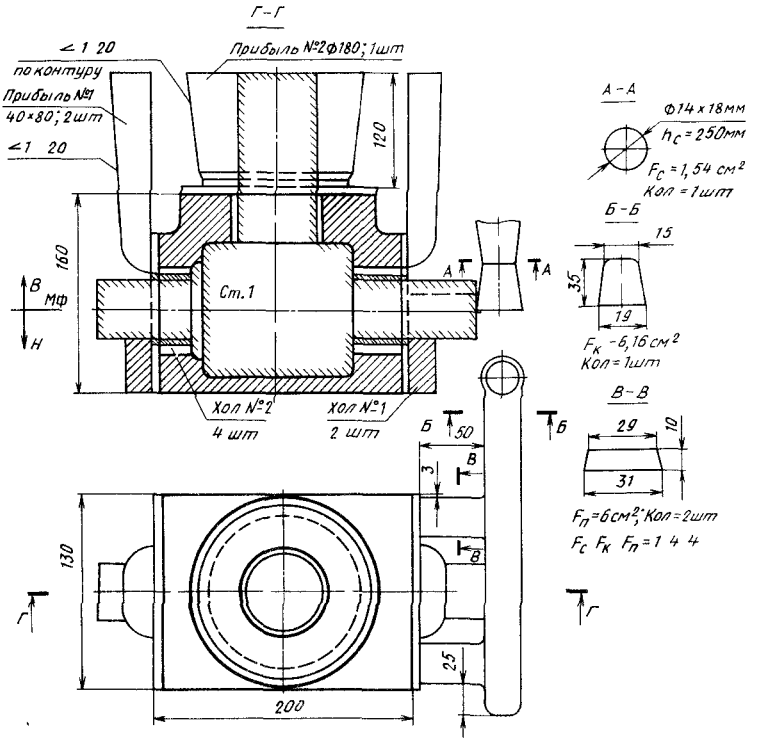


Рис. 68. Изображение элементов литниковой системы и прибылей отливки для детали «Тройник» на чертеже элементов литейной формы, выполненном на чертеже детали

роения литниковой системы на карте эскизов на рис. 69 приведен чертеж элементов литейной формы для крышки размером 500×500×165 мм.

При необходимости описания отдельных операций и переходов (изготовление формы, заливка металла, выбивка стержней и т. д.) оформляют операционную карту, в которой, кроме краткого описания переходов, указывают необходимые данные о режимах, технологической оснастке и материалах.

Комплектность технологических документов устанавливается разработчиком технологического процесса в соответствии с ГОСТ 3.1401—85 в зависимости от типа производства. В комплект технологических документов входят: титульный лист (ТЛ) по ГОСТ 3.1105—84, маршрутная карта (МК) по ГОСТ 3.1118—82, карта эскизов (КЭ) по ГОСТ 3.1105—84, КТИ (для каждого способа литья своя форма), операционная карта (ОК) — универсальная по ГОСТ 3.1401—85, ведомость технологических документов (ВТД) по ГОСТ 3.1122—84, ведомость технологических процессов (ВТП) по ГОСТ 3.1121—84, ведомость стержней (ВС), технологическая инструкция (ТИ) по ГОСТ 3.1105—84.

6. Моделирование литейных процессов

При выборе оптимального варианта технологического процесса для литой детали определенной конструкции проводят моделирование литейных процессов в следующих случаях:

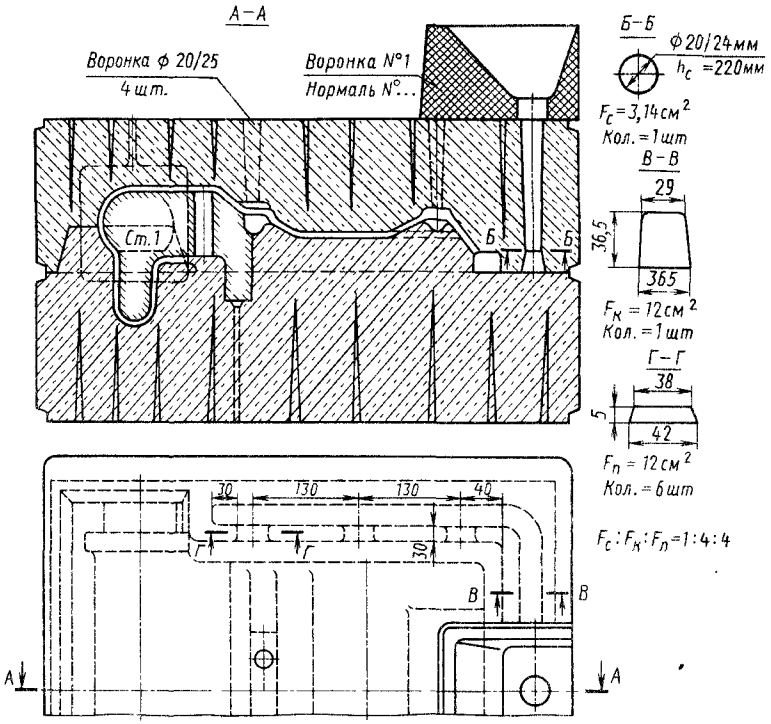


Рис. 69. Изображение элементов литниковой системы для детали «Крышка» на карте эскизов (технологическая схема сборки литейной формы)

при изготовлении отливок особо ответственного назначения сложной конфигурации или отливок с особыми свойствами, когда необходимо применить:

нестандартные конструкции литниково-питающих систем, для которых трудно выбрать их гидродинамические характеристики (коэффициент расхода, условия шлакозадержания, расход металла по питателям и т. п.);

нестандартный литейный сплав, физико-химические свойства которого в результате изменения химического состава или обработки малыми добавками отличаются от свойств стандартных сплавов;

материалы формы, физико-химические свойства которой, особенно тепловые характеристики, существенно отличаются от применяемых ранее материалов;

при ограниченных технических возможностях литейного цеха (отсутствие необходимого размера опок, грузоподъемных средств и т. п.), а также для снижения затрат на изготовление формы приходится отказываться от наиболее рациональных вариантов размещения отливки в форме, способа подвода расплава, расположения прибылей и литниковой системы;

при изготовлении новых крупных отливок в сжатые сроки, когда время на эксперименты очень ограниченно, а изготовление даже одной такой отливки связано с большими трудовыми и материальными затратами.

Техника моделирования литниковых систем. Для цветного литья наи-

более часто применяют моделирование гидродинамических процессов, в частности, моделирование литниковых систем. Основные положения моделирования литниковых систем, основанные на изучении их гидродинамических особенностей, заключаются в следующем.

Геометрическая особенность моделирования литниковых систем холодными жидкостями заключается в том, что с изменением масштаба модели одновременно вынужденно изменяется высота стояка, а следовательно, напор и скорость, т. е. при моделировании литниковых систем скорость потока является зависимой переменной.

Физическая специфика процесса заполнения песчаных форм расплавом характеризуется свойством газопроницаемости стенок, падением температуры расплава по течению потока, а также развитием процесса вспенивания и окисления легких сплавов.

Конструировать и рассчитывать модели литниковых систем необходимо так, чтобы во всех их сечениях гарантировалось атмосферное положительное давление расплава. В противном случае не исключен подсос воздуха и газов через стенки и разъем формы, искажающий физическую картину процесса ее заполнения и отрицательно влияющий на качество отливок. Течение такого потока (с положительным давлением) не зависит от газопроницаемости стенок, поэтому движение расплава в газопроницаемой форме можно изучать на моделях из оргстекла, кварцевого стекла и других газонепроницаемых материалов.

Другой важный вопрос касается влияния на характер течения вязкости расплава и ее изменение в зависимости от температуры. Опытами установлено, что течение алюминиевых, медных и магниевых сплавов, заливаемых с общепринятым для фасонного литья перегревом, в достаточно тонких каналах ($d \geqslant 10$ мм) не сопровождается образованием корочки на их стенках. Однако с падением температуры расплава по течению потока всегда увеличивается его вязкость. Следовательно, чем выше перегрев, тем ближе расходы в натуральных условиях к расходам при изотермическом моделировании холодными жидкостями.

Движения металла и моделирующей жидкости должны быть связаны подобием геометрических, кинематических и материальных характеристик. При заполнении литейной формы на расплав действуют силы тяжести, давления, инерции, трения и поверхностного натяжения. Полное подобие может быть обеспечено только при подобии всех этих сил. Однако для упрощения процесса моделирования в качестве основной принимают одну или две из действующих сил, определяющих характер процесса без заметного искажения его реальной картины. С этой целью рассматривают конкретные участки литейной формы (литниковые каналы, рабочую полость формы и т. д.), в которых движение металла и теплообмен могут заметно отличаться.

В литниковой системе металл движется с большой скоростью, движение носит турбулентный характер, охлаждение металла незначительное. Здесь, а также в тонких стенках литейной формы в основном действуют силы инерции и трения, а определяющим является критерий Рейнольдса, т. е. подобие модели и натуры обеспечивается равенством $\mathrm{Re_м} = \mathrm{Re_н}$.

В рабочей полости формы металл поднимается медленно, но охлаждается интенсивнее за счет контакта с менее нагретой формой. В тех случаях, когда вся отливка или большая ее часть находится ниже уровня подвода металла, а также при быстрой сифонной заливке допустимо моделирование процесса заливки без учета полости формы. Однако при заливке склонных к окислению и вспениванию расплавов необходимо обеспечить их спокойное течение и учитывать движение на свободных поверхностях в литниковой чаше и полости формы. Здесь уже действуют силы инерции и тяжести, и подобие будет обусловлено равенством чисел Фруда $\mathrm{Fr_м} = \mathrm{Fr_н}$, т. е.

$$\frac{v_м^2}{l_м g} = \frac{v_н^2}{l_н g}, \qquad (37)$$

где $l_м$, $l_н$ — характерные размеры соответственно модели и натуры.

30. Константы геометрического подобия (масштабы моделей)

Сплав и его вязкость *	Моделирующие жидкости и их вязкость			
	Вода при 20 °С, $\nu=1{,}006\cdot10^{-6}$	Ртуть при 15 °С, $\nu=1{,}1\cdot10^{-7}$	Глицерин (50 %) при 20 °С, $\nu=5{,}98\cdot10^{-6}$	Сплав Вуда при 100 °С, $\nu=1{,}25\cdot10^{-6}$
Алюминиевый, $\nu=6\cdot10^{-7}$	0,84	1,76	0,465	0,80
Магниевый, $\nu=7\cdot10^{-7}$	0,89	1,86	0,49	0,325

* Вязкость, м²/с.

Этот же критерий используют при моделировании истечения материала из отверстий и насадок, например, для заливки форм через носок поворотного ковша.

Если одновременно принимать во внимание силы трения и тяжести, то, изменяя вязкость, можно достигнуть равенства чисел Re и Fr модели и натуры. При моделировании литниковых систем жидкостью с известной вязкостью это равенство можно обеспечить соответствующим масштабом модели. Исходя из условия $Re_м = Re_н$ и $Fr_м = Fr_н$ и используя выражения (37), находят

$$K_l = \left(\frac{\nu_н}{\nu_м}\right)^{2/3}, \qquad (38)$$

где $\nu_н$ и $\nu_м$ — кинематическая вязкость соответственно реального жидкого металла и жидкости, используемой при моделировании.

Для пересчета результатов испытания модели на натуру масштабы расхода K_Q и времени K_τ выражают через масштабы модели

$$K_Q = \frac{Q_н}{Q_м} = K_F K_v = K_l^{5/2} \text{ и}$$

$$K_\tau = \frac{\tau_н}{\tau_м} = \frac{K_l^3}{K_F K_v} = K_l^{1/2}.$$

В табл. 30 приведены вычисленные по уравнению (38) теоретические константы геометрического подобия для некоторых комбинаций сплавов и жидкостей при моделировании.

Из сравнения численных значений вязкости материалов и моделирующих жидкостей следует, что в тех случаях, когда вязкость жидкости меньше вязкости расплава, модель должна быть больше отливки, т. е. $K_l > 1$. Если же вязкость жидкости больше вязкости *металла, то модель должна быть* меньше отливки, т. е. $K_l < 1$. Применение моделей небольшого размера значительно облегчает исследование литниковых систем для крупных отливок.

Моделирование литниковых систем с целью определения коэффициента расхода. В развитом турбулентном потоке вязкостные сопротивления малы по сравнению с инерционными и при достаточно больших числах Re в автомодельной области потери напора вообще не зависят от вязкости. Здесь коэффициенты сопротивлений становятся независимыми от Re. Однако течение металла с высокой турбулентностью недопустимо для легких сплавов, поэтому при литье легких сплавов такие потоки являются исключением. В интервале значений Re, характерных для потоков в литниковых каналах, коэффициенты местных сопротивлений в большинстве случаев непостоянны и являются функцией числа Re (рис. 70), что необходимо учитывать при моделировании таких систем.

Наиболее распространенной установкой для моделирования литниковых систем водой с целью определения их коэффициента расхода является установка конструкции МАМИ. Модель рациональнее всего выполнять из прозрачного органического стекла, так как это позволяет одновременно

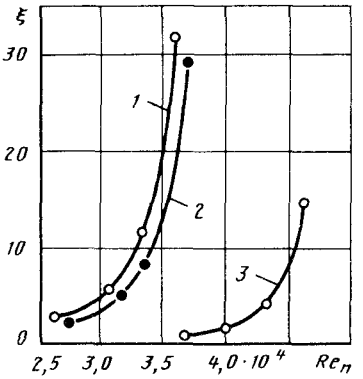


Рис. 70. Зависимость коэффициентов местного сопротивления литниковой системы, состоящей из чаши, стояка, коллектора и питателя, от критерия Re для потока в питателе при отнесении потерь к скорости течения металла в коллекторе.

Питатель присоединен к коллектору под углом: *1* — $\alpha = 137°\ 10'$; *2* — $\alpha = 90°$; *3* — $\alpha = 42°\ 50'$

с измерением расхода наблюдать картину потоков.

Определять коэффициент расхода при заливке жидкого металла можно на установке, приведенной на рис. 71. Эту установку можно использовать при заливке как песчаной, так и металлической формы. При работе в цеховых условиях особенно тщательно следует контролировать размеры литниковых каналов в опытной форме, состав, температуру заливки сплава и постоянство напора в литниковой чаше, т. е. факторы, которые в наибольшей степени влияют на коэффициент расхода. Литниковые каналы целесообразно выполнять в стержнях, так как это сокращает время на проведение опытов и одновременно повышает точность выполнения контролируемых размеров.

Помимо указанных факторов на результаты опытов большое влияние оказывает точность изготовления натуры и модели, допускаемые отклонения, размеры которых зависят от выбранного класса точности изготовления. Следует отметить, что нарушения точности линейных размеров при изготовлении модели дают квадратичную ошибку в площади при пересчете на натуру. Это, в свою очередь, приведет к ошибке в расчетном значении расхода, которая при пересчете на «натуру» возрастает в $C_l^{5/2}$ раз. Точность изготовления моделей должна быть тем выше, чем больше C_l.

Моделирование движения неметаллических включений в литниковых системах. Для моделирования движения неметаллических включений (шлака, пены, флюсов) применяют твердые материалы соответствующей плотности: пробку, древесные опилки и уголь,

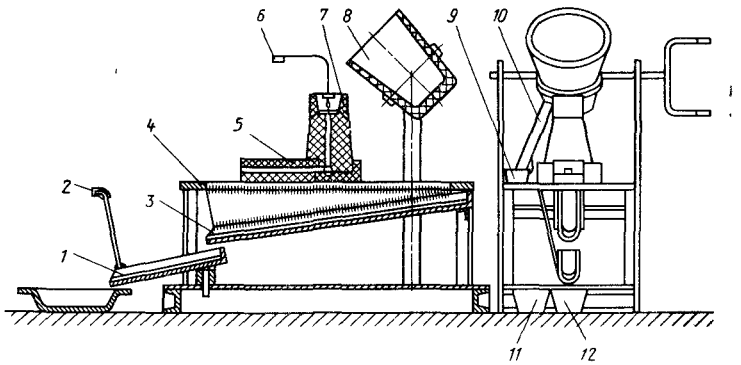


Рис. 71. Схема установки для определения расхода металла:

1 — поворотный желоб; *2* — тяга; *3* — стационарный желоб; *4* — стол; *5* — литейная форма в сборе; *6* — пробка; *7* — чаша; *8* — поворотный ковш; *9* — изложница; *10* — съемный желоб; *11* — запасная изложница; *12* — рабочая изложница

31. Материалы, применяемые для имитации движения неметаллических включений

Материал	Размер частиц l, см	Плотность, г/см³	Моделирующая жидкость
Кусочки сырой пробки без покрытия	0,2—0,5	0,33	Вода
Кусочки пробки с водонепроницаемым лаковым покрытием	0,8 0,2	0,26 0,33	
Кусочки древесины	—	0,56	
Микропористая резина	—	0,48	
Кремнезем	0,17—0,87	2,5	Металл
Шлак	0,18—0,8	Близка к плотности шлака металла	
Гранулы пенополистирола	$d = 2 \div 3$	0,02	Вода

микропористую резину и кусочки древесины, гранулы пенополистирола, зерна кремнезема, кусочки металлургического шлака, кусочки нарезанной фольги, а также специально приготовленный шлак, кусочки измельченной пены, оставшейся в литниковой чаше после заливки, и др. (табл. 31).

Все эти материалы, конечно, не воспроизводят жидкого шлака и пены, на поведение которых в расплаве в значительной степени оказывают влияние поверхностные явления. Твердые модельные частицы, в отличие от жидкого шлака, смачивающего форму и прилипающего к потолку коллектора, иногда отрываются от стенок и заносятся в питатель. Несмотря на это, проверка работы литниковой системы на шлакоулавливание с помощью твердых частиц имеет определенный смысл: так как ее проводят в более трудных условиях, чем натурную, то литниковые системы, показывающие удовлетворительные результаты при моделировании, окажутся заведомо работоспособны при эксплуатации в реальных условиях.

Особое значение при разработке конструкций шлакоулавливающих элементов системы и мероприятий по предотвращению образования вторичных включений (шлаков, засоров) придают определению траекторий движения неметаллических частиц в литниковых каналах и траекторий потоков расплава в рабочей полости формы.

Эту задачу чаще всего решают с помощью объемно-прозрачной модели, позволяющей вести визуальные наблюдения за потоками или производить их съемку на скоростную кинопленку.

Моделирование поведения неметаллических включений осуществляют при таком выборе размеров и материала, имитирующего включения, который удовлетворял бы условию равновсплываемости, характеризующемуся скоростью всплывания частиц, имеющих меньшую плотность, чем жидкость. Эта скорость пропорциональна диаметру частиц и относительной плотности. Поэтому условие равновсплываемости модельных частиц и реальных шлаковых включений будет иметь вид

$$d_{\text{с}} = \frac{\Delta\rho_{\text{с. ш}}}{\rho_{\text{с}}} = d_{\text{м}} \frac{\Delta\rho_{\text{ж. м}}}{\rho_{\text{ж}}},$$

откуда можно определить масштаб геометрического подобия:

$$\frac{d_{\text{с}}}{d_{\text{м}}} = \frac{\Delta\rho_{\text{ж. м}}\,\rho_{\text{с}}}{\Delta\rho_{\text{с. ш}}\,\rho_{\text{ж}}},$$

где $d_с$ и $d_м$ — диаметр неметаллических включений соответственно в сплаве и моделирующей жидкости; $\rho_с$ и $\rho_ж$ — плотность соответственно сплава и моделирующей жидкости; $\Delta\rho_{с.ш}$ и $\Delta\rho_{ж.м}$ — разность плотностей соответственно сплава и шлака, жидкости и твердых частиц.

Применив, например, в качестве моделей неметаллических включений кусочки микропористой резины с плотностью 0,48 г/см^3, а в качестве моделирующей жидкости воду ($\rho_ж = 1$ г/см^3), получим для алюминиевых сплавов

$$\frac{d_с}{d_м} = \frac{1-0{,}48}{2{,}4-1{,}8}\,\frac{2{,}4}{1} \approx 2{,}1;$$

для магниевых сплавов

$$\frac{d_с}{d_м} = \left(\frac{1-0{,}48}{1{,}64-1{,}35}\right)\frac{1{,}64}{1} = 2{,}9.$$

Моделирование динамики потока в литниковых каналах и рабочей полости формы. Наблюдения (визуальные, с помощью скоростной киносъемки и рентгеносъемки) за характером потока жидкости в литниковых каналах и рабочей полости формы проводят с целью определения допустимой турбулентности потоков на отдельных участках пути и волнообразного движения поверхности металла в форме, выявления очагов возникновения возмущения и инжекции воздуха, изучения путей движения в полости формы свежих порций металла и образования застойных и проточных зон, а также для решения ряда других технологических задач.

Наиболее широко используют прозрачные формы. Для улучшения визуального наблюдения пользуются индикаторами, вводимыми в поток. В качестве индикаторов применяют различные цветные эмульсии, а также твердые частицы, плотность которых равна плотности воды. Заливка водой и подкрашивание потоков (один из первых методов, примененных в гидравлике для изучения турбулентности) помогают установить последовательность заполнения формы, влияющего на образование неслитин и на процесс прогрева отдельных ее частей, наблюдать перемешивание жидкости и, как следствие этого, засасывание шлака и

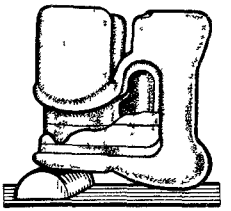


Рис. 72. Модель оболочки с прозрачным коллектором, питателем и частью поверхности юбки поршня в момент заполнения алюминиевым сплавом

воздуха, удаление неметаллических включений, газов и пр.

Этот метод широко используют при отработке литниковых систем, мест подвода и процесса заливки крупных отливок: корпусов насосов и компрессоров, гребных винтов и др. Как показывают эксперименты, он дает хорошие результаты. Применение в качестве материала моделей форм стиракрила позволяет прозрачные оболочки заливать алюминиевыми и магниевыми сплавами, причем прозрачность и геометрия оболочек при движении расплава не нарушаются. Это явление объясняется малой теплопроводностью стиракрила и образованием тонкой газовой прослойки на границе оболочка—расплав. Прочность прозрачной оболочки для заливки металла иногда повышают, заливая в нее проволочные каркасы или применяя воздушное охлаждение ее наружной поверхности. Чаще всего для заполнения металлом применяют разовые частично прозрачные оболочки, которые изучают визуально или снимают на пленку. Для увеличения контрастности используют подсвечивание. Модель полупрозрачной оболочки показана на рис. 72.

При сложной отливке для лучшего понимания взаимосвязи явлений, происходящих в форме, прозрачные оболочки исследуют по частям, так как дефекты часто образуются не там, где они обнаруживаются впоследствии в отливках. В отдельных случаях дефект изучают локально, ограничиваясь местом его образования.

Изготовление моделей. При моделировании холодными жидкостями луч-

щим материалом для изготовления моделей является органическое стекло. В этом случае модель может быть полностью изготовлена объемно-прозрачной, что позволяет вести визуальное наблюдение или производить скоростную съемку на кинопленку.

В зависимости от сложности и размеров литниковой системы изготовлять ее элементы можно различными способами: деформированием (изгибанием) подогретого стекла по профилю, например, деревянной промодели, механической обработкой, склеиванием листовых заготовок.

В первом случае (при деформировании) применяется стекло толщиной 0,5—3 мм, а в других — 6—60 мм. Для сохранения оптических свойств органического стекла необходимо, чтобы между отдельными пластинками не было воздушных пузырей. С этой целью склеиваемые поверхности сначала притирают, а затем выдерживают под нагрузкой. Части элементов склеивают специальными клеями, ацетоном, дихлорэтаном и др.

Лучшие результаты дает полиметилметакриловый клей ПММ (ОСТ 110140—85) (на основе дихлорэтана), не нарушающий оптические свойства стекла в местах склейки. При использовании этого клея необходимо детали, изготовленные механической обработкой, полировать на суконном круге с применением пасты из окиси хрома.

Целесообразными являются сборно-разборные конструкции моделей с взаимозаменяемостью отдельных элементов литниковой системы: стояка, коллектора, питателей и т. д. В этом случае мелкие элементы литниковой системы делают из стекла или калиброванных латунных трубок, а стержни из дерева и покрывают водонепроницаемой краской. Элементы модели соединяют между собой шурупами. Модели таких конструкций позволяют сэкономить время и средства при моделировании различных вариантов и комбинаций литниковой системы.

Кроме органического стекла, для изготовления прозрачных моделей можно использовать листовые термопласты и стиракриловую пластмассу. Модели из стиракриловой пластмассы, как уже отмечалось, можно непосредственно заливать металлическими расплавами. Прозрачность или полупрозрачность оболочек достигается окрашиванием их кремнийорганическим лаком.

Описанные способы изготовления прозрачных моделей хотя и несложны, однако трудоемки, а стоимость изделий достаточно высока, что ограничивает внедрение моделирования в литейную практику. Поэтому на практике разрабатывают более производительные способы изготовления прозрачных форм, в частности, используют вакуум-формовочные машины. В этом случае прозрачные оболочки получают непосредственно по деревянным, гипсовым моделям, а также по действительным отливкам, укладываемым на алюминиевой плите, установленной по уровню на столе вакуум-формовочной машины. Материалом служит часовое органическое стекло, формуемое при нагреве до 140—175 °С.

Местные дефекты модели исправляют специальным пистолетом, подающим нагретый воздух на требуемый участок модели. Внутренние стержни и вкладыши прозрачной модели изготавливают из быстротвердеющей пластмассы АСТ-Т или гипса. Такой способ значительно сокращает сроки и трудоемкость изготовления оболочек.

Глава III
ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Металлическая шихта

При производстве отливок из цветных сплавов в качестве шихтовых материалов используют:

первичные цветные металлы, которые являются основой или легирующими компонентами сплавов, — алюминий, магний, медь, марганец, никель, кремний, цинк, олово, свинец, висмут, титан, кобальт, литий, бериллий, кадмий, сурьма, хром, ниобий, вольфрам, ванадий, цирконий, тантал, редкоземельные металлы (церий, неодим, лантан и др.);

чушки вторичных цветных сплавов, получаемые с заводов вторичных цветных металлов и используемые для приготовления специальных марок сплавов или для подшихтовки;

лигатуры цветных металлов и сплавов;

отходы литейных и механических цехов (литники, выпоры, прибыли, бракованные отливки, стружка и др.);

лом и отходы, поступающие со стороны.

Химический состав первичных и цветных металлов, чушек вторичных цветных сплавов, лигатур и лома должен соответствовать требованиям ГОСТа, ОСТа или ТУ.

Алюминий — серебристо-белый пластичный металл, относящийся к легким цветным металлам. Свойства алюминия приведены в табл. 1.

Алюминий применяют в качестве основы литейных алюминиевых сплавов или легирующего элемента магниевых, медных и других сплавов, а также как раскислитель.

Алюминий — химически активный металл, в атмосфере он легко покрывается тонкой и плотной пленкой, предохраняющей от дальнейшего окис-

1. Физико-механические свойства алюминия высокой чистоты А999

Свойство	Числовое значение
Плотность (кг/м³) при температуре, °С:	
20	2700
700	2380
Температура, °С:	
плавления	660,1
кипения	2520
Скрытая теплота плавления, кДж/кг	395,43
Удельная теплоемкость [Дж/(кг·°С)] при температуре, °С:	
20	900
100	938
200	984
300	1030
400	1076
Теплопроводность [Вт/(м·°С)] при температуре, °С:	
20	217,71
100	
200	238
300	
400	
Электрическое сопротивление (мкОм·см) при температуре, °С:	
20	2,67
100	3,55
200	4,78
300	4,99
400	7,30
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при температуре, °С:	
20	23,5

Продолжение табл. 1

Свойство	Числовое значение
100	23,9
200	24,3
300	25,3
400	26,5
Временное сопротивление, МПа	50—90
Относительное удлинение, %	25—45
Твердость НВ	130—280
Усадка, %:	
линейная	1,7
объемная	6,5

ления. Оксидная пленка малопроницаема для всех газов и обеспечивает алюминию высокую коррозионную стойкость в атмосферных условиях и среде многих органических кислот.

Качество первичного алюминия зависит от степени его чистоты (табл. 2). По химическому составу в соответствии с ГОСТ 11069—74 первичный алюминий подразделяют на алюминий особой, высокой и технической чистоты.

Примеси железа и кремния оказывают вредное влияние на алюминий, снижают его пластические свойства, увеличивают твердость, повышают температуру рекристаллизации.

Первичный алюминий поставляется в чушках (по ГОСТ 11070—74) массой 5, 15 и 1000 кг с маркировкой по ГОСТ 11069—74 и цилиндрических слитках (по ГОСТ 11069—74).

Марку алюминия наносят несмываемой краской на торце чушки. На крупногабаритных чушках несмы-

2. Химический состав [% (мас. доля)] первичного алюминия (по ГОСТ 11069—74)

Марка алюминия	Al, не менее	Примеси, не более					
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Сумма определяемых примесей
Алюминий особой чистоты							
А999	99,999	—	—	—	—	—	0,001
Алюминий высокой чистоты							
А995	99,995	0,0015	0,0015	0,001	0,001	0,001	0,005
А99	99,99	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,010
А97	99,97	0,015	0,015	0,005	0,003	0,002	0,03
А95	99,95	0,030	0,030	0,015	0,005	0,002	0,05
Технический алюминий							
А85	99,85	0,08	0,06	0,01	0,02	0,01	0,15
А8	99,80	0,12	0,10	0,01	0,04	0,02	0,20
А7	99,70	0,16	0,16	0,01	0,04	0,02	0,30
А7Е	99,70	0,20	0,08	0,01	0,04	0,01 *1	0,30
А6	99,60	0,25	0,20	0,01	0,06	0,03	0,40
А5	99,50	0,30	0,30	0,02	0,06	0,03	0,50
А5Е	99,50	0,35 *2	0,12	0,02	0,04	0,01 *1	0,50
А0	99,0	0,50	0,5	0,02	0,08	0,03	1,0

*1 Для суммы Ti + V + Mn + Cr.
*2 Допустимое содержание железа не более 0,18 %.

3. Физико-механические свойства магния

Свойство	Числовое значение
Плотность (кг/м³) при температуре:	
20 °С	1738
плавления	1650
Температура, °С:	
плавления	650
кипения	1090
Скрытая теплота, кДж/кг:	
плавления	372
испарения	5500,9
Теплота, кДж/кг:	
возгонки	5 835,3
сгорания	25 059,1
Теплоемкость [Дж/(кг·°С)] при температуре, °С:	
20	1022
100	1063
200	1110
400	1197
Теплоемкость паров, Дж/(кг·°С)	8,7
Теплопроводность [Вт/(м·°С)] при температуре, °С:	
20	167
100	167
200	163
400	130
Теплоемкость [Дж/(кг·°С)] жидкого магния при 651 °С	1,25
Электрическое сопротивление (мкОм·см) при температуре, °С:	
20	4,2
100	5,6
200	7,2
400	12,1
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при температуре, °С:	
20	26,0
100	26,1
200	27,0
400	28,9
Временное сопротивление, МПа	7,8—11,4
Относительное удлинение, %	8—10
Твердость НВ	290—310
Усадка, %:	
при кристаллизации в твердом состоянии при снижении температуры от 650 до 20 °С	3,97—4,2

Продолжение табл. 3

ваемой краской отмечают массу чушек.

Газосодержание расплава при литье чушек не должно быть более 0,20 см³ на 100 г металла.

Магний — блестящий пластичный металл серебристо-белого цвета; физические и механические свойства магния приведены в табл. 3.

Магний широко используют как основу для приготовления ряда сплавов, применяемых в качестве конструкционных материалов, а также как легирующий элемент при приготовлении сплавов на алюминиевой, свинцовой и цинковой основах или для десульфуризации медных и никелевых сплавов.

Магний легко окисляется (оксидная пленка обладает слабыми защитными свойствами), неустойчив против коррозии, горюч; при температурах более 450 °С самовоспламеняется.

По ГОСТ 804—72 в зависимости от химического состава (табл. 4) установлены следующие марки магния: Мг96, Мг95 и Мг90.

Магний поставляют партиями, в чушках массой (8,0 ± 1,0) кг. На торцах чушек, не покрытых защитной смазкой, масляной краской белого цвета наносят одну полосу (чушки из магния Мг95) или две полосы (чушки из магния Мг96).

Медь — температура плавления 1083 °С, плотность 8940 кг/м³, обладает гранецентрированной кубической решеткой; имеет высокие тепло- и электропроводность, а также пластичность; коррозионно-устойчива в ряде агрессивных сред [9].

4. Химический состав [% (мас. доля)] магния (по ГОСТ 804—72)

Марка магния	Mg (определяется по разности), не менее	Примеси, не более								Сумма определяемых примесей
		Fe	Si	Ni	Cu	Al	Mn	Na	Ti	
Мг96	99,96	0,004	0,004	0,002	0,002	0,006	0,04	0,01	—	0,04
Мг95	99,95	0,004	0,004	0,007	0,003	0,006	0,01	0,005	0,014	0,05
Мг90	99,9	0,04	0,009	0,001	0,004	0,02	0,03	0,01	—	0,1

Примечание. В магнии любой марки требуемое содержание примесей хлора и калия, не вошедших в суммарное содержание определяемых примесей, обеспечивается технологией изготовления; их массовые доли не должны превышать 0,005 % каждая, за исключением марки Мг96, для которой массовая доля хлора не должна превышать 0,003 % (мас. доля).

Согласно ГОСТ 859—78 промышленность выпускает медь марок (табл. 5), различающихся содержанием примесей, которые в значительной степени снижают электропроводность меди. К наиболее вредным примесям относятся висмут, свинец и кислород.

Висмут почти нерастворим в твердой меди (т. е. его растворимость при 600 °С менее 0,001 %), вследствие чего этот элемент располагается по границам зерен при эвтектической реакции (270 °С) и вызывает разрушение слитков при горячей прокатке (красноломкость) из-за расплавления прослоек при нагреве выше 270 °С. При наличии более 0,001 % висмута медь становится хрупкой при холодной обработке.

Количество свинца, растворяющегося в меди, не превышает 0,3 % при 400 °С. Свинец вызывает красноломкость меди из-за оплавления эвтектики при нагреве до температур более 400 °С. Однако свинец менее опасен, чем висмут, что обусловлено наличием в системе медь—свинец монотектического превращения.

Медь с кислородом образует эвтектику. Если в меди содержится более 0,005 % (мас. доля) кислорода, то по границам кристаллов появляются выделения эвтектики ($Cu + Cu_2O$). При горячей прокатке примесь кислорода в меди не вызывает красноломкости, но хрупкие включения Cu_2O существенно понижают ее пластичность и делают склонной к «водородной болезни» — образованию трещин при работе в восстановительной атмосфере.

Сера образует с медью сульфид меди, выделяющийся по границам зерен и снижающий ее пластичность при низких и высоких температурах.

Содержание кислорода и серы в проводниковой меди не должно превышать 0,005 %.

Медь является основой литейных оловянных и безоловянных бронз, а также латуней. Ее применяют при фасонном литье в тех случаях, когда необходимы высокие электропроводность и теплопроводность материала (роторы электродвигателей, детали сварочных машин и др.).

Основная трудность получения отливок — плохая жидкотекучесть чистой меди и трудность получения расплава, не содержащего кислорода и водорода. Фасонные отливки получают литьем: в кокиль, по выплавляемым моделям, в сухие песчаные и оболочковые формы.

Для меди характерны также большая линейная (2,1 %) и объемная (~11 %) усадки, высокая склонность к газопоглощению и образованию трещин при затрудненной усадке.

Качество раскисления меди проверяют по технологической пробе: за-

5. Химический состав [% (мас. доля)] меди (по ГОСТ 859—78)

Марка меди	Cu+Ag, не менее	Примеси, не более										
		Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O_2	Zn	P (свыше—90)
Катоды												
МВ4к	99,993	0,0002	0,0006	0,005	0,0005	0,0006	0,0005	0,005	0,002	—	0,0007	0,0005
М00к	99,99	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	—	0,001	0,001
М0ку	99,97	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,015	0,001	0,001
М0ку	99,95	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,004	0,02	0,003	0,002
М1к	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,004	0,05	0,004	—
Слитки и полуфабрикаты												
М00б	99,99	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,0005
М0б	99,97	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001	0,003	0,002
М1б	99,95	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	0,003	0,003	0,002
М1у	99,9	0,0005	0,002	0,001	0,005	0,002	0,004	0,001	0,004	—	0,004	—
М1	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,004	—	0,004	—
М1р	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,01	0,005	0,002—0,012
М1ф	99,9	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	—	0,005	0,012—0,06
М2р	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,01	—	0,005—0,06
М3р	99,5	0,003	0,05	0,05	0,05	0,2	0,03	0,05	0,01	0,01	—	0,005—0,06
М2	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,07	—	—
М3	99,5	0,003	0,05	0,01	0,05	0,2	0,05	0,05	0,01	0,08	—	—

Примечание. По согласованию с потребителем допускается изготовление меди марки М0б с содержанием кислорода не более 0,002 % (мас. доля).

6. Химический состав [% (мас. доля)] металлического и азотированного металлического марганца (по ГОСТ 6008—82)

Марка марганца	Способ изготовления	Mn, не менее	Примеси, не более								
			C	Si	Fe	Ni	Cu	P	S	Σ Al+Ca+Mg	N_2, не менее
Мр000 *	Электролитический	99,9	0,02	—	—	—	—	0,005	0,003	—	—
Мр00		99,85	0,04					0,01	0,03		
Мр0		99,7	0,10					0,01	0,10		
Мр1	Электротермический	96,5	0,10	0,8	2,3	0,02	0,03	0,05	0,05	0,7	—
Мр2		95,0	0,20	1,8	2,8			0,07		0,7	
Мр1С		93,5	0,15	1,8—3,0	2,8			0,07		0,07	
Мр000Н6 *	Азотирование электролитическое	93,0	0,2	—	—	—	—	0,05	0,03	—	6,0
Мр00Н6		92,0	0,04					0,01	0,03		
Мр0Н6		92,0	0,1					0,01	0,10		
МрН6А	Азотирование электротермическое	88,5	0,10	0,8	2,3	0,02	0,03	0,05	0,05	0,7	6,0
МрН4А		90,5									4,0
МрН6Б		87,0	0,20	1,8	2,8			0,07			6,0
МрН4Б		89,0									4,0
МрН2		91,0									2,0

* Применяют только в договорно-правовых отношениях.

Примечание. Сумма примесей не должна превышать 3,5 % (мас. доля) для меди Мр1 и 5 % (мас. доля) для Мр2.

литый и охлажденный брусок при изгибе не должен давать трещин в месте изгиба.

Марганец в чистом виде не применяют; в литейных сплавах его используют как легирующий компонент. Химический состав марганца приведен в табл. 6.

Металлический и азотированный металлический марганец по ГОСТ 6008—82 поставляют в виде:

кусков и пластинок катодного осадка или раздробленных кусков переплавленного осадка (марки Мр000, Мр00 и Мр0);

кусков или слитков катодного осадка массой не более 15 кг (марки Мр000Н6, Мр00Н6 и Мр0Н6);

кусков массой не более 15 кг (марки Мр1, Мр2, Мр1С и МрН6А, МрН4А, МрН6Б, МрН4Б и МрН2).

Сплавы с высоким содержанием марганца приготовляют из электролитического марганца марок Мр00, Мр0, Мр1, Мр2 и Мр1С после предварительной переплавки его с криолитом для очистки от примесей.

Никель является основой большой группы жаропрочных сплавов, из которых изготовляют детали и узлы газотурбинных двигателей, или жаростойких и коррозионно-стойких сплавов; применяется так же, как легирующий элемент цветных сплавов.

Химический состав никеля (табл. 7) должен соответствовать ГОСТ 849—70. Механические свойства литого никеля: $\sigma_в = 320 \div 350$ МПа, $\delta = 25$ %, твердость 30—120 НВ. Никель поставляется: Н-4 [97,6 % (мас. доля) Ni] в виде катодных листов и пластинок, Н-3 в виде гранул и слитков, которые в основном применяют для приготовления сплавов и лигатур.

Технический никель [с содержанием никеля 99,3 % (мас. доля)] имеет зону хрупкости при 500—900 °С; наи-

7. Химический состав [% (мас. доля)] никеля (по ГОСТ 849—70)

Марка никеля	ΣNi + Co, не менее	Co, не более	Примеси, не более					
			C	Mg	Si	P	S	Fe
Н-0	99,99	0,005	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
Н-1у	99,95	0,10	0,10	0,001	0,002	0,001	0,001	0,1
Н-1	99,93	0,10	0,01	0,001	0,002	0,001	0,001	0,1
Н-2	99,8	0,15	0,02	—	0,002	—	0,003	0,04
Н-3	98,6	0,7	0,10	—	—	—	0,03	—
Н-4	97,6	0,7	0,15	—	—	—	0,04	—

Марка никеля	Примеси, не более							
	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Pb	Bi
Н-0	0,001	0,005	0,0005	0,0003	0,0003	0,003	0,0003	0,0003
Н-1у	0,015	0,0008	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Н-1	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0006
Н-2	0,04	0,005	—	—	—	—	0,01	—
Н-3	0,6	—	—	—	—	—	—	—
Н-4	1,0	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Содержание висмута в никеле Н-2 устанавливают по согласованию с потребителем.

2. Содержание в никеле Н-0 Al и Mn не более 0,001 % (мас. доля).

8. Химический состав [% (мас. доля)] кристаллического кремния (по ГОСТ 2169—69)

Марка кремния	Si, не менее	Примеси, не более			Сумма определяемых примесей
		Fe	Al	Ca	
Кр00	99,0	0,4	0,4	0,4	1,0
Кр0	98,8	0,5	0,4	0,4	1,0
Кр1	98,0	0,7	0,7	0,6	2,0
Кр2	97,0	1,0	1,2	0,8	3,0
Кр3	96,0	1,5	1,5	1,5	4,0

более высокая пластичность проявляется при 1100 °С.

Кремний — крупнокристаллический порошок серого металлического цвета, твердый, хрупкий. Сверхчистый кремний (монокристаллический) — полупроводниковый материал. Кремний (табл. 8) используют для легирования цветных сплавов. Для легирования сплавов применяется кристаллический кремний. Поставляется кремний в кусках нерегламентированной формы, размером не менее 20 мм. Содержание мелочи не должно превышать 10 % (мас. доля) партии.

Цинк — металл светлого серо-голубоватого цвета, хрупкий; является основой группы сплавов для литья под давлением, антифрикционных, типографских. Цинк используют также как легирующий элемент для сплавов на основе алюминия, меди, магния и легкоплавких сплавов.

Цинк обладает хорошими литейными свойствами и сравнительно высокой стойкостью на воздухе и в пресной воде.

Химический состав и область применения цинка (табл. 9, 10) должны соответствовать ГОСТ 3640—79. Механические свойства технического цинка приведены в табл. 11. Цинк ЦВ00 поставляют в чушках массой 5 и 10 кг, других марок — в чушках массой 19—25 кг и блоками до 1000 кг.

Примеси свинца, висмута, сурьмы, мышьяка, олова, кадмия и железа отрицательно влияют на технологические свойства цинка [9, 34].

Олово — мягкий металл серебристо-белого цвета, пластичный; содержание в земной коре — 0,0006 %; температура плавления — 232 °С; имеет две модификации; серое олово плотностью

9. Химический состав [% (мас. доля)] цинка (по ГОСТ 3640—79)

Марка цинка	Zn, не менее	Примеси, не более						Сумма определяемых примесей
		Pb	Cd	Fe	Cu	Sn	As	
ЦВ00	99,997	0,00001	0,002	0,00001	0,00001	0,00001	—	0,003
ЦВ0	99,995	0,003		0,002	0,001	0,001		0,005
ЦВ1	99,992	0,004		0,003			0,005	0,008
ЦВ	99,99	0,005	0,004				0,0005	0,01
Ц0А	99,98	0,011		0,005			0,0005	0,02
Ц0	99,975	0,013	0,01	0,01			—	0,025
Ц1С	99,95	0,015		0,01	0,002	0,001	0,0005	0,04
Ц1	99,95	0,02		0,01	0,005	0,002	0,01	0,05
Ц2	98,7	1,0	0,2	0,05	0,01	0,01	0,01	1,3
Ц2С	98,6	1,3	0,003	0,04	0,02	0,04	0,01	1,4
Ц3С	98,5	1,4	0,2	0,05	0,05	0,005	0,01	1,5
Ц3	97,5	2,0	0,2	0,1				2,5

10. Примерное назначение цинка

Марка цинка	Область применения
ЦВ00	Для производства чистых реактивов и нужд электротехники
ЦВ0, ЦВ1	Для полиграфической и автомобильной промышленности
ЦВ	Для литья под давлением особо ответственных отливок, производства чистых реактивов и окиси цинка, цинкового порошка
ЦОА, Ц0	Для получения листов гальваническим способом, ответственных отливок под давлением, цинковых сплавов, обрабатываемых давлением, горячего и холодного цинкования, изготовления порошков и белил, легирования алюминиевых сплавов
Ц1, Ц2	Для разнообразного назначения

5846 кг/м³ и белое плотностью 7298 кг/м³. Олово стойко против окисления и поэтому его широко используют как защитное покрытие.

В соответствии с ГОСТ 860—75 различают две категории качества олова: высшую и первую.

Поставляют олово всех марок без упаковки, за исключением олова марки ОВЧ-000. Хранят олово при температуре не ниже ±12 °С. При появлении на чушках признаков «оловянной чумы» вся партия поставки должна подвергаться переплаву.

Пластичность олова высокая при температурах до 220 °С, повышение чистоты олова приводит к снижению пластичности.

Химический состав олова приведен в табл. 12. Примесь 0,2 % Pb приводит к разрушению образцов на 0,7 °С ниже точки плавления.

Механические свойства олова: $\sigma_в$ = = 28 МПа, δ = 40÷60 %, 5 НВ.

Олово является основой сплавов для литья под давлением, баббитов и припоев; его применяют в качестве легирующего компонента медных сплавов.

Свинец — основа подшипниковых (антифрикционных), типографских сплавов и припоев; применяется как легирующий элемент медных и легкоплавких сплавов, а также сплавов для аккумуляторов, пульных оболочек и дроби.

Чистый свинец — пластичный металл с синеватым («свинцовым») блеском на свежем разрезе; быстро окисляется, окисная пленка надежно защищает металл от дальнейшей коррозии. Свинец стоек в атмосферных условиях, сырой земле, при контакте со многими металлами в серной и других кислотах.

Марки свинца и его химический состав соответствуют ГОСТ 3778—77Е (табл. 13).

По соглашению изготовителя с потребителем допускается более высокое содержание отдельных примесей при условии сохранения минимального содержания основного металла в соответствии с табл. 13.

Висмут — серебристо-розовый металл, хрупкий при комнатной температуре; с повышением температуры

11. Свойства технического цинка

Цинк	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	НВ
	МПа		%		
Литой	120—140	75	0,3—0,5	—	30—40
Деформируемый	120—170	80—100	40—50	60—80	35—45
Обожженный	70—100	—	10—20	—	—

12. Химический состав [% (мас. доля)] олова (по ГОСТ 860—75)

Марка олова	Категория качества	Sn, не менее	Примеси, не более				
			As	Fe	Cu	Pb	Bi
ОВЧ-000	Высшая	99,999	$1\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$
О1пч		99,915	0,01	0,009	0,01	0,025	0,01
О1		99,900	0,01	0,009	0,01	0,04	0,015
О2		99,565	0,015	0,02	0,03	0,025	0,05
О1пч	Первая	99,915	0,01	0,09	0,01	0,025	0,01
О1		99,900	0,01	0,009	0,01	0,04	0,015
О2		99,565	0,015	0,02	0,03	0,25	0,05
О3		98,49	0,03	0,02	0,10	1,0	0,06
О4		96,43	0,05	0,02	0,10	3,0	0,10

Марка олова	Категория качества	Примеси, не более				Сумма определяемых примесей
		Sb	S	Zn	Al	
ОВЧ-000	Высшая	$5\cdot10^{-5}$	—	$3\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-3}$
О1пч		0,015	0,008	0,002	0,002	0,085
О1		0,015	0,008	0,002	0,002	0,1
О2		0,056	0,016	0,002	0,002	0,435
О1пч	Первая	0,015	0,01	—	—	0,085
О1		0,015	0,01	—	—	0,1
О2		0,05	0,02	—	—	0,435
О3		0,3	0,02	—	—	1,51
О4		0,3	0,02	—	—	3,51

Примечания: 1. По требованию потребителя содержание висмута в олове О1 может быть снижено до 0,01 % (мас доля).

2. По согласованию потребителя с изготовителем в олове О1 и О2 первой категории допускается содержание свинца до 3 % (мас. доля).

3. Содержание в олове ОВЧ-000 примесей (помимо указанных в таблице), % (мас. доля): Ca $5\cdot10^{-5}$; Ag $5\cdot10^{-6}$; Au, Co, Ni и In по $1\cdot10^{-5}$.

пластичность металла повышается. Наблюдается резкое увеличение пластичности при 100—200 °С, хотя физические свойства изменяются плавно. Применяют висмут в качестве основного компонента легкоплавких сплавов различного назначения и теплоносителя [53].

Сплавы, содержащие более 55 % (мас. доля) висмута, при затвердевании расширяются. Висмут самый диамагнитный металл.

Температура плавления висмута 271,3 °С, температура кипения 1560 °С, плотность при 20 °С 9800 кг/м^3, при температуре плавления 10270 кг/м^3. Предел прочности на разрыв составляет 5—20 МПа, $\delta = 0$ %, $\psi = 1$ %, твердость 9,3 НВ. Химический состав висмута приведен в табл. 14.

По ГОСТ 10928—75 изготовляют висмут в виде:

слитков массой не более 16 кг (марки Ви00, Ви0, Ви1 и Ви2);

13. Химический состав [% (мас. доля)] свинца (по ГОСТ 3778—77 Е)

Обозначение марок		Pb, не менее	Примеси, не более				
По СТ СЭВ 142—75	По ГОСТ 3778—77 Е		Ag	Cu	Zn	Bi	As
Pb 99,992	C0	99,992	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0,001	0,004	$5 \cdot 10^{-4}$
Pb 99,99	C1C	99,99	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001
Pb 99,98	C1	99,985	0,001	0,001	0,001	0,006	0,001
Pb 99,97	C2C	99,97	0,002	0,002	0,002	0,02	0,002
Pb 99,95	C2	99,95	0,0015	0,001	0,001	0,03	0,002
Pb 99,9	C3	99,9	0,0015	0,002	0,005	0,06	0,005
Pb 99,5	C3C	99,5	0,01	0,09	0,07	0,15	0,05

Обозначение марок		Примеси, не более				
По СТ СЭВ 142—75	По ГОСТ 3778—77 Е	Sn	Sb	Fe	ΣMg+ +Ca+Na	Сумма определяемых примесей
Pb 99,992	C0	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0,001	0,002	0,008
Pb 99,99	C1C	0,001	0,001	0,001	0,002	0,01
Pb 99,98	C1	0,001	0,001	0,001	0,003	0,015
Pb 99,97	C2C	0,001	0,005	0,001	0,003	0,03
Pb 99,95	C2	0,002	0,005	0,002	0,015	0,05
Pb 99,9	C3	0,002	0,005	0,005	0,04	0,1
Pb 99,5	C3C	0,10	0,20	0,01	—	0,5

гранул размером поперечного сечения 1—5 мм и длиной до 10 мм (марки Ви1 и Ви2);

гранул сферообразной формы размером до 5 мм (марки Ви0);

слитков массой 0,2—0,6 кг (марки Ви0000 и Ви000).

Титан — серебристо-блестящий металл, не тускнеющий на воздухе. При температуре 600 °С и выше титан адсорбирует кислород, азот и водород, а также двуокись углерода, что приводит к охрупчиванию титана.

Химический состав титана приведен в табл. 15.

Температура плавления титана 1668 °С, кипения — 3277 °С, плотность при 20 °С 4510 кг/м^3, твердость 130—154 НВ. Свойства технического титана приведены в табл. 16.

Применяют титан как конструкционный материал и как легирующий компонент в цветных и черных сплавах.

Существуют две модификации титана: α-форма, устойчивая до температуры 882,5 °С, и β-форма, устойчивая

14. Химический состав [% (мас. доля)] висмута (по ГОСТ 10928—75)

Марка	Bi, не менее	Примеси, не более						
		Pb	Zn	Fe	Sb	Cu	Au	As
Ви0000	99,9999	$1\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{-5}$
Ви000	99,999	$3\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-6}$	$3\cdot10^{-6}$
Ви00	99,98	$1{,}8\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-5}$	$7\cdot10^{-5}$
Ви0	99,97	$2\cdot10^{-2}$	$1\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$
Ви1у	98,0	1,85	$3\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-2}$	$1{,}2\cdot10^{-1}$	$2\cdot10^{-4}$
Ви1	97,7	2,0	$5\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-2}$	$1{,}8\cdot10^{-1}$	$3\cdot10^{-4}$
Ви2	96,5	3,0	$1\cdot10^{-2}$	$1\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	$1{,}8\cdot10^{-2}$	$4\cdot10^{-1}$	$1\cdot10^{-3}$

Марка	Bi, не менее	Примеси, не более						
		Te	Co	Cd	Mn	Hg	Mo	Ni
Ви0000	99,9999	—	$3\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-5}$	$2{,}5\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{-6}$
Ви000	99,999	—	$5\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$
Ви00	99,98	—	$3\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	—	—	—
Ви0	99,97	$1\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-3}$	$9\cdot10^{-4}$	$7\cdot10^{-5}$	—	—	—
Ви1у	98,0	$1\cdot10^{-4}$	—	—	—	—	—	—
Ви1	97,7	$1\cdot10^{-4}$	—	—	—	—	—	—
Ви2	96,5	$1\cdot10^{-3}$	—	—	—	—	—	—

Марка	Bi, не менее	Примеси, не более				Сумма определяемых примесей, не более
		Sn	Cr	Au	In	
Ви0000	99,9999	$3\cdot10^{-6}$	$3\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-4}$
Ви000	99,999	$1\cdot10^{-5}$	$8\cdot10^{-6}$	$3\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-3}$
Ви00	99,98	—	—	—	—	$2\cdot10^{-2}$
Ви0	99,97	—	—	—	—	$3\cdot10^{-2}$
Ви1у	98,0	—	—	—	—	2,0
Ви1	97,7	—	—	—	—	2,3
Ви2	96,5	—	—	—	—	3,5

Примечание. По соглашению между потребителем и изготовителем в висмуте Ви1 допускается содержание не более 2,5 % свинца и не более 0,2 % серебра, в висмуте Ви2 — не более 0,45 % (мас. доля) серебра.

15. Химический состав [% (мас. доля)] титана (по ГОСТ 19807—74)

Марка титана	Ti	Легирующие элементы (Ti — основа)					
		Fe	Si	C	O_2	N_2	H_2
ВТ1-1	99,038	0,30	0,12	0,08	0,15	0,05	0,012
ВТ1-0	99,28	0,25	0,10	0,07	0,12	0,04	0,010
ВТ1-00	99,601	0,20	0,08	0,05	0,10	0,04	0,008

16. Механические свойства титана

Марка титана	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ
	МПа		%	
ВТ1-1	450—600	380—500	25	50
ВТ1-0	350—500	300—420	30	60
ВТ1-00	300—450	250—380	30	60

выше этой температуры. α-титан имеет гексагональную плотно упакованную решетку; β-титан — кубическую объемно-центрированную решетку.

На полиморфное превращение и стабильность α- и β-фаз оказывают влияние легирующие элементы, которые подразделяются:

на α-стабилизаторы — примеси внедрения (N, O, C) и основной легирующий элемент — Al;

на β-стабилизаторы, которые делят на изоморфные и эвтектоидообразующие; изоморфные элементы (V, Nb, Mo, Ta) образуют неограниченные твердые растворы с β-фазой и расширяют область ее устойчивости до нормальной температуры; эвтектоидообразующие элементы: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Si;

на нейтральные упрочнители, образующие с титаном системы с неограниченной растворимостью (Zr, Hf) или ограниченные твердые растворы (Sn, Ge), которые мало влияют на устойчивость β-фазы.

Особую роль в титане играют примеси внедрения (C, O_2, N_2, H_2), которые повышают прочность и твердость, но одновременно снижают пластичность; при содержании этих элементов более 0,5—0,7 % пластичность достигает нулевого значения — металл становится хрупким. Наиболее опасна примесь водорода, которая образует в α-сплавах выделение пластинок гидридной фазы, что приводит к возникновению водородной хрупкости. Содержание (мас. доля) примесей внедрения ограничено: $O_2 < 0{,}1 \div 0{,}15$ %; $C < 0{,}05 \div 0{,}1$ %; $N_2 < 0{,}04 \div 0{,}15$ %; $H_2 < 0{,}01$ %.

Титан очень высокой чистоты получают иодидным способом, а основную массу титана для получения полуфабрикатов и его сплавов — магниетермическим способом в виде губчатого титана по ГОСТ 17746—79 (табл. 17). Твердость титана зависит от его химического состава (табл. 18).

Кобальт — металл белого цвета с красноватым оттенком, температура плавления 1492 °С, температура кипения 2930 °С; плотность при 20 °С 8920 кг/м³, при температуре плавления — 7760 кг/м³.

Металлический кобальт, получаемый электролитическим или огневым рафинированием, применяют для легирования жаропрочных цветных ме-

17. Химический состав [% (мас. доля)] губчатого титана (по ГОСТ 17746—79)

Марка губчатого титана	Примеси, не более						
	Fe	Si	Ni	C	Cl	N_2	O_2
ТГ-90	0,06	0,01	0,05	0,02	0,08	0,02	0,04
ТГ-100	0,07	0,02	0,05	0,03	0,08	0,02	0,04
ТГ-110	0,09	0,03	0,05	0,03	0,08	0,02	0,05
ТГ-120	0,11	0,03	0,05	0,04	0,08	0,03	0,05
ТГ-130	0,13	0,04	0,05	0,04	0,10	0,03	0,08
ТГ-150	0,2	0,04	0,05	0,05	0,12	0,04	0,10
ТГ-Тв	2,0	—	—	0,15	0,3	0,3	—

Примечание. Ti — основа.

18. Твердость губчатого титана различных марок

Марка губчатого титана	Твердость НВ	Марка губчатого титана	Твердость НВ
ТГ-90	90	ТГ-130	130
ТГ-100	100	ТГ-150	150
ТГ-110	110	ТГ-Тв	—
ТГ-120	120		

таллов и производства сплавов на его основе.

Марки кобальта (табл. 19) и химический состав должны соответствовать ГОСТ 123—78. Литой кобальт К2 малопластичен. Механические свойства кобальта при чистоте 99,4 % при 20 °С: $\sigma_в$ = 240 МПа, 124 НВ; с повышением чистоты до 99,99 % прочность и пластичность увеличиваются. Довольно высокими свойствами обладает литой кобальт (табл. 20) электронно-лучевой плавки.

Сера придает кобальту красноломкость, слитки кобальта, нагретые до 1000 °С в среде водорода, подвергают ковке, если содержание серы в них не превышает 0,008 % (мас. доля); слитки с содержанием серы более 0,015 % (мас. доля) не поддаются ковке из-за образования межкристаллитных трещин.

Повышение чистоты слитков кобальта электронно-лучевым переплавом [до содержания, % (мас. доля):

19. Химический состав [% (мас. доля)] кобальта (по ГОСТ 123—78)

Марка кобальта	Co, не менее	Примеси, не более								
		Bi	Fe	Cd	Mn	Cu	As	Mg	Ni	Sn
К0	99,98	0,0003	0,003	0,0003	0,0005	0,001	0,0005	0,001	0,005	0,0003
К1Ау	99,35	0,0004	0,2	0,001	0,03	0,02	0,001	—	0,3	0,0004
К1А	99,30	0,0005	0,2	0,001	0,07	0,03	0,002	—	0,3	0,001
К1	99,25	—	0,2	—	0,07	0,03	0,002	—	0,3	—
К2	98,30	—	0,5	—	0,1	0,08	0,005	—	0,5	—

Марка кобальта	Co, не менее	Примеси, не более					
		S	Sb	Pb	C	P	Zn
К0	99,98	0,001	0,0003	0,0003	0,005	0,0005	0,001
К1Ау	99,35	0,004	0,0006	0,0005	0,02	0,002	0,002
К1А	99,30	0,004	0,001	0,0005	0,02	0,003	0,003
К1	99,25	0,004	—	—	0,03	—	—
К2	98,30	0,01	—	—	0,1	—	—

Примечания: 1. По согласованию между изготовителем и потребителем в кобальте К0, применяемом для изготовления никельсодержащих сталей и сплавов, допускается содержание никеля не более 0,05 % (мас. доля); в кобальте К1, применяемом для изготовления сталей и железосодержащих сплавов, допускается содержание железа не более 0,4 % (мас. доля).

2. Допускается в кобальте К0 содержание не более 0,001 % (мас. доля) Al.

20. Механические свойства литого кобальта

t, °С	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ
	МПа		%	
20	890	320	21	23
926	95	63	43	93

С 0,004; O_2 0,0013, N_2 0,0003 и H_2 менее 0,0001] позволяет получить кобальт, не уступающий по технологическим свойствам и пластичности никелю электронно-лучевой плавки [9].

Кобальт изготовляют в виде слитков, катодных листов или пластин. Максимальный размер пластин 500×500 мм, минимальный — 20×20 мм. Масса слитков не более 25 кг.

Литий — мягкий щелочной металл, режется ножом; твердость при 20 °С равна 5 НВ; температура плавления 180 °С, температура кипения 1342 °С; плотность при 20 °С 530 кг/м^3, при температуре кипения — 525 кг/м^3.

Литий изготовляют трех марок (табл. 21) в соответствии с ГОСТ 8774—75.

Механические свойства лития чистотой 99,7 % (мас. доля) приведены в табл. 22.

Литий применяют для дегазации и раскисления стали, чугуна, бронз и латуни; в баббитах используют вместо олова; в алюминиевых, магниевых и медных сплавах — для улучшения антифрикционных и литейных свойств.

Поставляют литий в виде чушек массой до 2,5 кг и хранится в плотно закрытых (запаянных) баках из белой жести по 12—30 чушек (до 50 кг), залитых смесью трансформаторного масла (50 %) и парафина (50 %) с надписью «Осторожно — от воды загорается!».

22. Механические свойства лития

t, °С	—269	—253	—193	—78	20
$\sigma_в$, МПа	50	43	13	50	10
δ, %	54	29	27	38	52

Бериллий — металл серебристо-белого цвета; температура плавления бериллия 1289 °С, плотность 1850 кг/м^3; применяют в конструкциях, используемых при 600—800 °С; теплота испарения $3{,}7 \cdot 10^7$ Дж/кг, модуль упругости $3 \cdot 10^5$ МПа, теплоемкость $2{,}1 \times 10^3$ Дж/(кг·°С), т. е. в 4 раза превышает теплоемкость стали и в 8 раз — титана.

Бериллий применяют как легирующий элемент при получении различных сплавов на основе меди, магния, никеля, алюминия, железа и других металлов. Около 90 % производимого бериллия используют в виде различных сплавов, преимущественно на медной основе или для повышения прочности, жаропрочности, жаростойкости и других характеристик материалов.

Бериллий является химически активным элементом; на воздухе образуется защитная пленка (BeO), полностью предохраняющая металл от

21. Химический состав [% (мас. доля)] лития, (по ГОСТ 8774—75)

Марка лития	Li, не менее	Примеси, не более								
		Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	SiO_2	N (нитридный)
ЛЭ-1	99,5	0,6	0,05	0,03	0,02	0,001	0,005	0,003	0,01	0,05
ЛЭ-2	98,2	0,1	0,01	0,03	0,05	0,005	0,01	0,005	0,05	0,05
ЛЭ-3	98,0	0,8	0,2	0,1	0,3	0,02	0,03	0,03	0,2	0,2

23. Химический состав [% (мас. доля)] кадмия (по ГОСТ 1467—77)

Марка кадмия	Cd, не менее	Примеси, не более					Сумма определяемых примесей
		Zn	Pb	Fe	Cu	Ga	
КдОА	99,98	0,001	0,0003	0,004	0,002	0,002	0,02
Кд0	99,95	0,004	0,002	0,001	0,005	0,005	0,05
Кд1	99,93	0,005	0,004	0,015	0,015	0,015	0,07
Кд2	99,89	0,01	0,01	0,02	0,08	0,08	0,17

дальнейшего окисления. Пленка сохраняет защитные свойства при нагреве металла в кислороде, углекислом газе, азоте и воздухе до 700 °С; во влажных газах — до 600 °С.

Бериллий реагирует с азотом при температуре более 500 °С и водородом при температуре более 1000 °С; при комнатной температуре бериллий хрупок и малопластичен. Пластичность бериллия сохраняется до 400 °С; при 850 °С бериллий становится красноломким и разрушается по границам зерен.

Кадмий применяют для защитных покрытий стальных изделий, в качестве легирующего компонента в припоях, типографских, анатомических, легкоплавких и медных сплавах. Химический состав и марки кадмия (табл. 23) должны соответствовать требованиям ГОСТ 1467—77.

В кадмии марок КдОА и Кд0 массовая доля мышьяка, сурьмы и олова не должна превышать 0,003 % в сумме, для остальных марок — не более 0,002 % каждого.

Кадмий всех марок изготовляют в виде: чушек массой (10 ± 1,5), (4,0 ± 0,6) и (0,5 ± 0,1) кг; слитков массой 100, 200, 250 и 500 кг; прутков диаметром (8 ± 1) мм; гранул.

Сурьма находит применение в качестве легирующего компонента сплавов на свинцовой, оловянной и медной основе (баббитов, припоев, сплавов для литья под давлением и т. д.). Температура плавления сурьмы 630 °С; плотность при 20 °С 6700 кг/м^3, при температуре плавления 6550 кг/м^3.

Марки сурьмы и химический состав (табл.24) соответствуют ГОСТ 1089—82.

Сурьму марки Су000 изготовляют в виде прутков разной массы (по согласованию с потребителем); сурьму марок Су00, Су0, Су1 и Су2 — в виде чушек, имеющих форму усеченной пирамиды, массой 15—25 кг.

Хром обладает рядом специфических свойств: высокой температурой плавления (1880 °С), жаростойкостью, коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред; плотность хрома при 20°С 7190 кг/м^3.

Применяют хром в качестве легирующего компонента в медных и никелевых сплавах, а также в качестве основного компонента литейных жаропрочных сплавов с железом, молибденом, титаном, вольфрамом, танталом, бором, селеном.

Марки и химический состав металлического хрома первой категории качества (табл. 25) соответствуют ГОСТ 5905—79.

Металлический хром изготовляют в кусках массой не более 10 кг. В изломе металлический хром должен быть плотным, на поверхности кусков допускается окисная пленка.

Ниобий, вольфрам и ванадий относятся к тугоплавким металлам, обладающим высокой коррозионной стойкостью в некоторых средах, прочностью при повышенных температурах, при которых уже не работают железо, никель и сплавы на их основе.

Эти металлы применяют для легирования сталей и цветных сплавов, а также в качестве основы жаростойких и коррозионно-стойких специальных сплавов.

При изготовлении литых деталей и полуфабрикатов из тугоплавких ме-

24. Химический состав [% (мас. доля)] сурьмы (по ГОСТ 1089—82)

Марка сурьмы	Sb, не менее	Примеси, не более						
		Pb	As	Fe	S	Sn	Si	Zn
Су00000	99,9999	$1\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$
Су0000П	99,9995	$1\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$
Су0000	99,999	$1\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-5}$
Су000	99,99	$6\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-4}$
Су00	99,9	$3\cdot10^{-2}$	$1\cdot10^{-2}$	$1\cdot10^{-2}$	$1\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	—	$5\cdot10^{-3}$
Су0	99,6	$2\cdot10^{-1}$	$2\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	—	$5\cdot10^{-3}$
Су1	99,4	$1\cdot10^{-1}$	$1\cdot10^{-1}$	$1\cdot10^{-1}$	$1\cdot10^{-1}$	$8\cdot10^{-2}$	—	—
Су2	98,8	$6\cdot10^{-1}$	$2\cdot10^{-1}$	$1\cdot10^{-1}$	$1\cdot10^{-1}$	$1\cdot10^{-1}$	—	$1\cdot10^{-2}$

Марка сурьмы	Примеси, не более							Сумма определяемых примесей
	Bi	Au	Ni	Cu	Cd	Mn	Ag	
Су00000	$2\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	$9{,}20\cdot10^{-5}$
Су0000П	$2\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-6}$	$3\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-6}$	$5{,}12\cdot10^{-4}$
Су0000	$2\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-6}$	$5\cdot10^{-6}$	$8{,}50\cdot10^{-4}$
Су000	$5\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-5}$	$4{,}10\cdot10^{-3}$
Су00	$4\cdot10^{-3}$	$6\cdot10^{-4}$	$8\cdot10^{-3}$	—	—	—	—	$9{,}76\cdot10^{-2}$
Су0	$5\cdot10^{-3}$	$8\cdot10^{-4}$	$16\cdot10^{-3}$	—	—	—	—	$3{,}37\cdot10^{-1}$
Су1	—	—	—	—	—	—	—	$4{,}80\cdot10^{-1}$
Су2	$1\cdot10^{-2}$	$1\cdot10^{-3}$	—	—	—	—	—	1,12

Примечания: 1. В сурьме Су0000П допускается содержание, % (мас. доля), не более: Se $5\cdot10^{-5}$; Mg $2\cdot10^{-5}$; Na $1\cdot10^{-4}$; $1\cdot10^{-5}$.

2. В сурьме Су000 (для производства сурьмы высокой чистоты Су0000П) содержание мышьяка не должно превышать $6\cdot10^{-5}$ (мас. доля).

3. В сурьме марки Су0 (для изготовления сплавов, применяемых в специальных аккумуляторах) содержание золота не должно превышать $2\cdot10^{-4}$ (мас. доля).

4. По соглашению между изготовителем и потребителем в сурьме марок Су1 и Су2 допускается увеличение массовых долей свинца, олова и мышьяка за счет уменьшения содержания сурьмы.

5. Сурьму Су1 получают катодным методом.

таллов необходимо их изолировать от контакта с воздухом при всех операциях нагрева.

Ниобий выпускают в штабиках (по ГОСТ 16100—79) и слитках (по ГОСТ 16099—80); химический состав ниобия в штабиках приведен в табл. 26, в слитках — в табл. 27.

Ниобий марок НбШ0 и НбШ1 в штабиках предназначен для производства и легирования сплавов; НбШ00 — для производства и легирования сплавов и для других целей; НбШП — для изготовления полуфабрикатов.

Из ниобия в слитках изготовляют ленты, листы, прутки, трубы, проволоку и другие изделия.

Содержание железа и титана в ниобии марок Нб2 и Нб3, а также содержание водорода во всех марках предприятие-изготовитель контролирует периодически один раз в квартал.

На торце каждого слитка выбивают марку и номер слитка.

25. Химический состав [% (мас. доля)] хрома первой категории качества (по ГОСТ 5905—79)

Марка хрома	Cr, не менее	Примеси, не более						
		Si	Al	Fe	C	S	P	Cu
Х99А	99,0	0,3	0,2	0,6	0,03	0,02	0,02	0,01
Х99Б	99,0	0,3	0,5	0,6	0,03	0,02	0,02	0,01
Х98,5	98,5	0,4	0,5	0,6	0,03	0,02	0,02	0,02
Х98	98,0	0,5	0,7	0,8	0,04	0,03	0,03	0,04
Х97	97,0	0,5	1,5	1,2	0,05	0,04	0,03	0,05

Марка хрома	Примеси, не более						
	As	Bi	Sb	Zn	Pb	Sn	N_2
Х99А	0,01	0,0005	0,008	0,006	0,0008	0,004	0,04
Х99Б	0,01	0,0005	0,008	0,006	0,008	0,004	0,05
Х98,5	0,01	0,0005	0,008	0,01	0,001	0,004	—
Х98	—	—	—	—	—	—	—
Х97	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Массовая доля хрома в отдельных плавках партии не должна отличаться более чем на 0,4 %.

2. Хром Х99А содержит 0,005 % (мас. доля) Co.

26. Химический состав [% (мас. доля)] ниобиевых штабиков (по ГОСТ 16100—79)

Марка ниобия	Примеси, не более						
	N_2	O_2	C	Fe	Si	Ta	Ti
НбШ00	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,1	0,01
НбШ0	0,03	0,02	0,03	0,07	0,03	0,2	0,06
НбШ1	0,05	0,04	0,06	0,08	0,03	0,3	0,07
НбШП	0,03	0,02	0,03	0,07	0,03	0,02	0,06

Вольфрам — тугоплавкий металл, температура плавления 3410 °С, температура кипения 5930 °С, плотность при 20 °С 19 300 кг/м^3, при температуре плавления — 17 600 кг/м^3.

Применяют вольфрам при изготовлении твердых сплавов, проволоки для источников света (по ГОСТ 19671—74), большая часть вольфрама (80—85 %) расходуется на легирование стали и сплавов типа *ферровольфрама* (по ГОСТ 17293—82), марки и химический состав которого приведены в табл. 28.

Плотность ферровольфрама 16 500 кг/м^3, температура плавления более 2000 °С, поставляют вольфрам в виде кусков массой до 5 кг.

Химический состав вольфрама для производства проволоки приведен в табл. 29 (по ГОСТ 19671—81). На

27. Химический состав [% (мас. доля)] ниобия в слитках (по ГОСТ 16099—80)

Марка ниобия	Примеси, не более								
	N_2	O_2	H_2	C	Si	Ta	Fe	Ti	Σ W+ Mo
Нб1	0,01	0,01	0,001	0,01	0,005	0,1	0,005	0,005	0,01
Нб2	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,15	0,01	0,01	0,02
Нб3	0,01	0,01	0,001	0,03	0,02	0,3	0,01	0,01	0,04

28. Химический состав [% (мас. доля)] ферровольфрама (по ГОСТ 17293—82)

Марка вольфрама	Вольфрам, не менее	Примеси, не более									
		Mo	Mn	Si	C	P	S	Cu	As	Sn	Al
ФВ80а	80	6,0	0,2	0,8	0,10	0,03	0,02	0,10	0,04	0,04	4,0
ФВ75а	75	7,0	0,2	1,1	0,15	0,04	0,04	0,20	0,06	0,06	5,0
ФВ70а	70	7,0	0,3	2,0	0,3	0,06	0,06	0,30	0,08	0,10	6,0
ФВ70	70	1,5	0,4	0,5	0,3	0,04	0,08	0,15	0,04	0,08	—
ФВ70Б	70	2,0	0,5	0,8	0,5	0,06	0,10	0,20	0,05	0,10	—
ФВ65	65	6,0	0,6	1,2	0,7	0,10	0,15	0,30	0,08	0,20	—

Примечания: 1. В обозначении марки ферровольфрама буква Б указывает на отличие массовой доли фосфора.

2. Содержание Pb, Bi и Sb в ферровольфраме ФВ70 не более чем по 0,03 % (мас. доля).

29. Химический состав [% (мас. доля)] вольфрама для производства проволоки (по ГОСТ 19671—81)

Марка вольфрама	W, не менее	Примеси, не более			Присадки		Окись тория
		Fe	Co	Mo	Al	Si	
ВА	99,95	0,005	0,005	0,03	0,004	0,006	—
ВРН	99,90	0,01	0,015	0,04	0,01	0,01	—
ВМ	99,95	—	—	—	—	—	0,17—0,25
ВТ-7	99,90	—	—	—	—	—	0,7—1,0
ВТ-10	99,5	—	—	—	—	—	0—1,5
ВТ-15	99,5	—	—	—	—	—	1,5—2,0

30. Механические свойства вольфрама

Вольфрам	Твердость НВ	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ
		МПа		%	
Спеченный	470	1710	—	0	0
Монокристаллический	335	870	550	12	71

механические свойства вольфрама большое влияние оказывают примеси кислорода, углерода, азота, фосфора. Механические свойства вольфрама при 20 °С приведены в табл. 30.

При наличии в вольфраме 0,001—0,005 % (мас. доля) кислорода на границе зерен имеются окислы вольфрама, что приводит к межкристаллитному разрушению образцов и не позволяет обрабатывать его давлением при повышенных температурах. Раскисление углеродом уменьшает содержание кислорода, очищает границы зерен и повышает их прочность, что позволяет обрабатывать вольфрам при повышенных температурах.

Ванадий — тугоплавкий металл светло-серого цвета; температура плавления 1919 °С, температура кипения 3410 °С, при 20 °С плотность 6110 кг/м^3, при температуре плавления — 5700 кг/м^3.

Применяют ванадий для легирования (до 90 %) черных и цветных сплавов в виде сплава железа и ванадия — феррованадия и лигатур. Чистый ванадий поставляют по ТУ марок: Вэл-1, Вэл-2, Вэл-3 — в виде слитков и ВнМ-1, ВнМ-2 — в виде электролитического порошка.

Феррованадий по ГОСТ 27130—86 поставляют десяти марок (табл. 31). При содержании ванадия 40 % плотность равна 7000 кг/м^3, температура плавления 1480 °С.

Чистый ванадий очень пластичен, с повышением температуры прочность ванадия понижается, пластичность возрастает (табл. 32).

Снижение пластичности при 400 °С обусловлено содержанием большого количества примесей, мас. доля, %: С 0,062; O_2 0,085; H_2 0,0068; N_2 0,11.

Ванадий, получаемый дуговой плавкой, обладает более высокой пластичностью. При 20 °С удлинение δ = = 42 %, относительное сужение ψ = = 84 %.

Примеси внедрения повышают температуру перехода к хрупкости; водород оказывает влияние даже при его содержании в ванадии 0,001 %. Кислород и азот при их суммарном содержании до 0,056 % не охрупчивают ванадий до температуры —196 °С. С увеличением содержания кислорода и

31. Химический состав * [% (мас. доля)] феррованадия некоторых марок (по ГОСТ 27130—86)

Марка феррованадия	Примеси, не более				
	C	Si	S	P	Al
ФВд75У0,1	0,1	0,8	0,05	0,05	2,0
ФВд50У0,4	0,4	1,8	0,02	0,07	0,2
ФВд40У0,5	0,5	2,0	0,05	0,08	0,5

* Не менее 35 % V, не более 0,05 % As.

32. Влияние температуры на свойства ванадия

t, °С	$\sigma_в$, МПа	δ	ψ
		%	
20	640	22	48
400	690	19	58
600	280	38	87
800	160	36	89
1000	50	50	89

33. Химический состав [% (мас. доля)] магниетермического и иодидного циркония [6]

Цирконий	Al	Ca	Cu	Ga	Fe
Магниетермический	0,1—0,2	0,01—0,05	Присутствие	2,58	0,005—0,01
Иодидный	0,006—0,015	—	0,0005—0,001	2,5 и менее	0,00008—0,0006

Цирконий	Mg	Ni	Si	Ti
Магниетермический	0,005—0,1	Присутствие	0,01—0,05	0,0001—0,005
Иодидный	0,0005—0,004	0,00005	0,0002	0,0005

Примечание. Zr — основа.

азота температура перехода к хрупкости повышается: при их суммарном содержании до 0,155 % температура перехода к хрупкости превышает 0 °С.

Горячую обработку ванадия выполняют в защитной атмосфере или вакууме ($1{,}33 \cdot 10^{-3}$ Па).

Цирконий в компактном состоянии—металл серебристо-белого цвета, похожий на сталь. Применяют цирконий в электронно-вакуумной технике, атомных реакторах, как основу припоя для пайки титановых сплавов, для защитных покрытий и повышения теплостойкости магниевых сплавов.

Цирконий обладает способностью поглощать и удерживать активные газы: наиболее интенсивно кислород при 600—800 °С, азот при 700 °С, водород при 800 °С. В вакууме водород удаляется при 1000 °С. Получают цирконий магниетермическим (восстановлением циркония магнием из четыреххлористого циркония) или иодидным (термической диссоциацией тетраиодида в вакууме) способами. Химический состав циркония приведен в табл. 33.

Температура плавления циркония 1852 °С, температура кипения 4400 °С; плотность при 20 °С равна 6490 кг/м^3, при температуре плавления — 5800 кг/м^3. Механические свойства иодистого отожженного циркония при 20 °С $\sigma_в = 220$ МПа, $\delta = 45$ %.

Чистый цирконий пластичен и может подвергаться холодной и горячей деформациям. Применяют цирконий для изготовления полос, прутков, проволоки и труб. Для улучшения пластических свойств циркония используют зонную плавку.

Наилучшими механическими свойствами обладает цирконий, обработанный в вакууме 10^{-1} Па (по сравнению с обработкой в других средах).

Циркониевый порошок марки ЦЭВ (по ЦМТУ 3145—52) содержит, % (мас. доля): Zr не менее 98,0 и примесей не более: Fe 0,05, Ca 0,05, Cl 0,003.

Тантал — металл серо-стального цвета с температурой плавления 2980 °С и температурой кипения 5370 °С; плотность при 20 °С равна 1660 кг/м^3; при температуре плавления — 1500 кг/м^3. По химической стойкости тантал уступает благородным металлам; его применяют для изготовления тугоплавких износостойких и коррозионно-устойчивых сплавов.

Первичный танталовый порошок получают восстановлением комплексного фторида (фтортанталата калия); содержание, % (мас. доля): тантала не менее 98,5; ниобия не более

34. Механические свойства тантала

Вид обработки тантала	$\sigma_в$, МПа	δ, %	ψ, %	НВ
Деформирование	950—980	2—5	5—7	230
Отжиг	450—550	23—30	75—80	140

0,5. Применяют порошок для изготовления твердых сплавов.

Тантал, выплавленный в дуговой вакуумной печи, содержит, % (мас. доля): O_2 0,003; N_2 0,002; H_2 0,0008 и 0,035 С. Механические свойства тантала приведены в табл. 34.

При электронно-лучевой плавке в тантале значительно уменьшается содержание примесей, % (мас. доля): O_2 0,0016; N_2 0,001; H_2 0,00014; до 0,0036 С; температура хрупкости в этом случае понижается до —(200÷250 °С). Очень чистый тантал высокопластичен даже при температурах, близких к абсолютному нулю, что позволяет изготовлять полуфабрикаты любой конфигурации холодной деформацией.

Танталовый порошок повышенной чистоты применяют для изготовления электролитических конденсаторов и электровакуумных приборов.

Редкоземельные металлы (РЗМ). В зависимости от свойств РЗМ подразделяют на две основные группы: цериевую и иттриевую. Цериевую подгруппу составляют РЗМ первой половины ряда лантана: лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий и европий. Иттриевую подгруппу составляют элементы второй половины ряда лантана: гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций.

РЗМ находит широкое применение в качестве легирующих добавок в легких сплавах, сталях и чугунах, для производства магнитов, в стекольной промышленности при производстве специальных стекол и в других областях.

Физические свойства РЗМ (табл. 35)

35. Физические свойства РЗМ

Металл	Плотность, кг/м³	Температура плавления, °С	Теплоемкость, Дж/(моль·°С)	Теплота плавления, Дж/(моль·10^{-3})
La	6166	920	26,12	6,18
Ce	6771	798	27,04	5,14
Nd	7003	1016	27,38	7,12

имеют большое значение для их практического применения, при этом одной из важных характеристик РЗМ, как легирующих добавок, является их плотность.

Редкоземельные металлы являются химически активными элементами. Они образуют гидриды, фториды, хлориды, оксиды, сульфиды, нитриды, карбиды, гидроокиси, соли неорганических и органических кислот, комплексные соединения.

Лантан, церий, празеодим и неодим окисляются на воздухе.

Взаимодействия РЗМ с другими металлами имеют различный характер в зависимости от места, занимаемого в периодической системе элементов. При этом может иметь место несмешиваемость РЗМ с другими веществами в жидком состоянии (например, с ванадием, ниобием, танталом), образование соединений и значительных по протяженности твердых растворов.

РЗМ довольно широко распространены в природе; их содержание в земной коре составляет около 0,016 %, что превышает содержание таких широко используемых в промышленности элементов, как медь (0,01 %), никель (0,008 %), цинк (0,005 %), олово (0,004 %), свинец (0,0016 %) и ртуть ($7 \cdot 10^{-6}$ %).

Примесями, присутствующими в технически чистых РЗМ, являются: другие редкоземельные металлы (0,1—0,3 %); элементы, которые используют при производстве РЗМ металлотермическим восстановлением, — кальций и магний; элементы, переходящие в расплав из тиглей и других

36. Свойства чистых легкоплавких металлов, кремния и меди

Свойство	Bi	Cd	Li	Sn	Pb	Sb	Zn	Si	Cu
Плотность, кг/м³:									
при 20 °С	9800	8640	530	7298	11340	6680	7140	2330	8940
расплава	10270	8000	525	6980	10300	6550	6700	—	7790
Температура, °С:									
плавления	271,3	320,8	180	232	327,4	630	419,5	1412	1083
кипения	1560	767	1342	2200	1740	1640	907	2600	2360
Скрытая теплота, кДж/кг:									
плавления	58,9	55,05	137,14	60,2	26,16	168,4	100,74	1802,4	199,4
испарения	785,8	902,9	1942,8	3013,8	840,2	1500,6	1776,5	5275,2	3586,4
Теплоемкость, кДж/(кг·°С)									
при 20 °С	0,121	0,229	3,302	0,225	0,129	0,205	0,382	0,798	0,385
расплава	0,150	0,260	4,075	0,267	0,172	0,250	0,577	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·°С), при 0—100 °С	8,37	97,55	71,16	65,32	35,17	18,39	87,08	108,86	385,44
Коэффициент линейного расширения при 20 °С $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	13,45	29,8	56	22,4	29,5	11,29	32,5	6,95	16,8
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	1,068	0,073	0,093	0,115	0,2065	0,39	0,59	$2,4 \cdot 10^1$	0,0179
Нормальный водородный потенциал, В	+0,2	—0,4	—3,02	—0,1	—0,12	—0,1	—0,76	—	0,34
Относительное удлинение, %	0	20	50—70	40	50	0	5—20	30	60
Предел прочности на разрыв, МПа	5—20	64	118	15—20	16	80	110—150	400—450	400
Твердость НВ	9,3	16	5	5	4—5	30—40	30—42	120	45
Изменение удельного объема при плавлении, %	—3,3	—	1,5	3,5	3,2	—1,0	4,1	—5,0	5,3

Свойство	Be	V	W	Co	Mn	Mo	Ni	Nb	Ta	Ti	Cr	Zr
Плотность, кг/м³, при 20 °С	1850	6110	19300	8920	7400	10200	8910	8570	16600	4510	7190	6490
Температура, °С:												
плавления	1289	1919	3410	1492	1245	2625	1425	2500	2996	1668	1910	1860
кипения	2450	3410	5930	2930	2150	4800	3080	5127	5370	3277	2469	4400
Скрытая теплота, кДж/кг:												
плавления	1107,7	334,4	183,9	244,1	270,8	209	305,14	288	173,5	379,5	132,7	250,8
испарения	—	9990	4928	5183	3804	6688	4357	6061	6479	5956	4577	6629
Теплоемкость, кДж/(кг·°С), при 20 °С	1,78	0,50	0,133	0,443	0,480	0,255	0,439	2,50	0,142	0,523	0,46	0,276
Теплоемкость расплава, кДж/(кг·°С)	—	—	0,20	0,852	0,836	—	0,669	—	—	—	—	—
Теплопроводность при 0—100 °С, Вт/(м·°С)	188,4	30,9	199,3	69,08	5,02	146,5	92,12	52,34	54,43	15,49	69,08	14,65
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	11,6	10,6	4,0	12,08	23	5,49	13,3	7,1	6,6	8,3	6,7	6,3
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	—	0,26	0,055	0,062	—	0,052	0,072	0,13	0,15	0,47	0,15	0,45
Нормальный электродный потенциал, В	—	—1,5	—0,24	—0,29	—1,0	—	—0,231	—0,96	—1,12	—	—0,6	—
Временное сопротивление, МПа	400—600	220—480	1000—1200	500	—	700	280—300	300—450	450—550	400—450	300—350	250
Относительное удлинение, %	0,2—2,0	17	0	5	—	30	40	20	25—35	30—40	15	15—30
Твердость НВ	60—85	70	350	125	—	125	30—120	75	45—125	130—154	100	65
Изменение удельного объема при плавлении, %	—	—	8—10	—	—	8—10	3,1	—	—	8—10	8—10	8—10

38. Лигатуры на основе алюминия [15, 33, 60]

Лигатура	Компонент	Содержание компонента, % (мас. доля)	Температура плавления лигатуры, °С
Алюминий—кремний	Si	20—25	650—700
Алюминий—бериллий *	Be	4—6	820—880
Алюминий—железо	Fe	5—10	850—900
Алюминий—магний	Mg	10—12	560—600
Алюминий—марганец	Mn	5—10	780—800
Алюминий—медь	Cu	35—50	575—600
Алюминий—никель	Ni	10—20	780—820
Алюминий—титан	Ti	3—5	900—950
Алюминий—хром	Cr	3—5	750—850
Алюминий—церий	Ce	20—30	650—680
Алюминий—цирконий	Zr	3—5	830—900
Алюминий—медь—марганец	Cu Mn	10—13 1—15	800—830
Алюминий—титан—бор	Ti B	3—5 0,1—0,5	1000—1040
Алюминий—медь—фосфор	Cu P	8—10 1—1,5	750—610
Алюминий—медь—марганец—титан	Cu Mn Ti	28—32 4—6 1,8—2,5	980—1060

* Химический состав лигатуры Al—Be должен соответствовать требованиям ГОСТ 23911—79.

деталей аппаратуры, — тантал, цирконий, медь, железо. Кроме того, в технически чистых РЗМ могут содержаться в заметных количествах кислород, фтор, азот и углерод.

Физические и механические свойства легкоплавких металлов приведены в табл. 36; тугоплавких металлов — в табл. 37.

В соответствии с ГОСТ 1639—78 **лом и отходы цветных металлов** (рис. 1) подразделяют по видам основного металла на алюминий и его сплавы, медь и ее сплавы и т. д. Цветные металлы по внешним признакам делятся на классы: А — лом и кусковые отходы, Б — стружка, В — порошковые отходы, Г — прочие отходы, Д, Е и Ж — отходы, содержащие ртуть; по химическому составу — на группы (I, II, III, IV, V, VI); по качеству на сорта 1—4 (основным показателем сорта является степень незасоренности лома и отходов другими цветными металлами и сплавами).

Лигатуры. При выплавке сплавов в ряде случаев непосредственное введение в расплав некоторых элементов затруднено из-за большой разницы в температуре плавления основного металла и легирующей добавки или трудности ее растворения в чистом виде, а также при высокой окисля-

39. Лигатуры для приготовления магниевых сплавов [42, 51]

Лигатура	Компонент	Содержание компонента, % (мас. доля)	Температура плавления лигатуры, °С
Алюминий—магний—марганец	Mg Mn	20 10	700
Алюминий—магний—бериллий	Mg Be	35 3	680
Магний—марганец	Mn	2—4	720

40. Химический состав [% (мас. доля)] и назначение лигатуры медь—фосфор (по ГОСТ 4515—81)

Марка лигатуры	Основные компоненты		Примеси, не более			Область применения
	P	Cu	Bi	Sb	Всего примесей	
МФ13	11—14	Остальное	0,002	0,002	0,2	Модификаторы и лигатура для цветных сплавов и припой
МФ10	9,5—11	То же	0,002	0,002	0,2	То же
МФ9	8,0—9,5	»	0,005	0,10	0,7	Раскислители сплавов на медной основе

Примечания: 1. Температура плавления (°С) лигатур: МФ13 900; МФ10 880; МФ9~750.

2. Маркировка лигатур: МФ13 — одна голубая полоса; МФ10 — одна белая полоса; МФ9 — одна черная полоса.

3. Лигатуру поставляют в виде плит и прутков.

41. Химический состав [% (мас. доля)] медно-никелевых и медно-бериллиевых лигатур

Лигатура	Марка лигатуры	Основные компоненты (Cu — остальное)			Примеси, не более	
		Ni	Pb	Be	Mg	Sb
Медно-никелевая	МН15	12,0—18,0	1,0	—	—	0,1
	МН18	14,0—18,0	4,0—7,0	—	—	0,1
	МН25	20,0—30,0	4,0—7,0	—	—	0,1
	МН33	29,0—37,0	0,1	—	—	0,002
Медно-бериллиевая (ГОСТ 23912—79 Е)	МБ-1	—	—	4—11	0,04	0,02 Si
	МБ-2				0,04—0,06 и более	

Лигатура	Марка лигатуры	Примеси, не более					Сумма примесей
		Zn	Sn	Mn	Fe	Al	
Медно-никелевая	МН15	13,0	1,5	2,5	1,5	1,0	6,6
	МН18	3,0	1,5	0,5	1,0	0,3	3,4
	МН25	1,0	1,5	0,5	1,0	0,05	4,15
	МН33	0,1	0,1	1,0	1,0	3.0	2,2
Медно-бериллиевая (ГОСТ 23912—79 Е)	МБ-1	0,0007 Pb	—	—	0,02	0,02	—
	МБ-2						

Примечание. Температуры плавления лигатур, °С: медно-никелевых 1070—1080, медно-бериллиевых 900—970.

42. Лигатуры на основе меди и других цветных металлов [39, 43, 57, 93]

Лигатура	Содержание, % (мас. доля)		Температура плавления лигатуры, °С
	меди	прочих компонентов	
Медь—марганец	73	Mn 27	860
Медь—кремний	84	Si 16	800
Медь—олово	50	Sn 50	780
Медь—железо	90—95	Fe 10—5	1330—1200
Алюминий—медь—никель	40	Al 50 Ni 10	670
Медь—кадмий	70	Cd 30	850
Медь—алюминий	67	Al 33	780
	50	Al 50	580
Медь—сурьма	50	Sb 50	670
Медь—хром	94—96	Cr 6—4	1140—1120
Медь—магний	90—85	Mg 10—15	720—820
Медь—бор	96—97	B 3—4	1060
Медь—цирконий	92—88	Zr 8—12	1000—964
Олово—никель—сурьма	60 Sn	Ni 10 Sb 30	—
Медь—кобальт	90	Co 10	1240—1110
Медь—титан	80	Ti 20	950—880
	70	Ti 30	900—860
Никель—магний	50 Ni	Mg 50	1250—1300

43. Химический состав [% (мас. доля)] и температура плавления лигатур для получения тугоплавких сплавов [75]

Марка лигатуры	Основные компоненты (Al — остальное)							Температура плавления лигатуры, °С
	Mn	Cr	Fe	Si	W	V	Ti	
АХМК	30—40	23—27	3—6	2,5—4,0	—	—	—	1430
АХМКФ	32—36	21—25	4—6	2,5—4,0	До 4,0	—	—	1470
АМТ	48—52	—	—	—	—	—	6—9	1480
АМТФ	48—52	—	—	—	До 4,5	—	6—9	1520
АХМ-50	38—42	50—53	—	—	—	—	—	1800
АЦМК	38—42	—	—	2,5—3,5	—	—	—	1590
АЦМКФ	38—42	—	—	2,5—3,5	До 4,0	—	—	1610
АМВТ	35—38	—	—	—	Al до 16,5	30—34	Остальное	1830
К5	32—34	6—8	5—8	—	—	32—34	—	1720
К5к	32—34	6—8	5—8	—	До 3,5	32—34	—	1750
ВнАЛ	—	—	—	—	—	70—80	—	1820
ЛТ7	—	—	3—10	4—6	Al до 6—8	—	Остальное	1500

Примечание. В лигатурах АЦМК и АЦМКФ содержится 18—21 % (мас. доля) Zr.

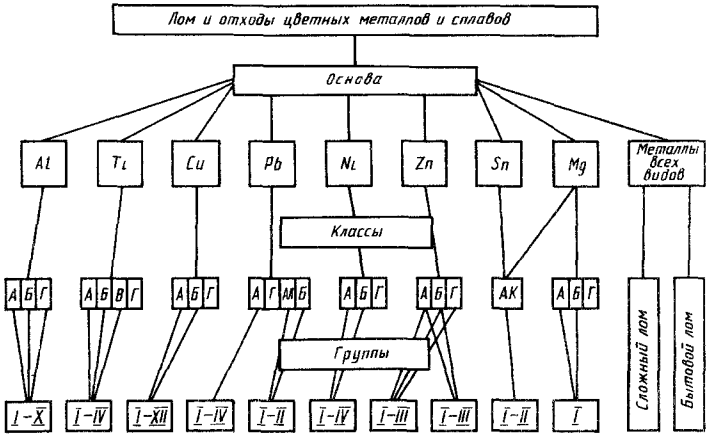


Рис. 1. Классификация лома и отходов цветных металлов

емости или испаряемости. В этом случае добавляют лигатуры, т. е. промежуточные сплавы, в которых содержится значительное количество нужной легирующей добавки.

Лигатуры должны удовлетворять следующим требованиям: иметь температуру плавления, близкую к температуре плавления основного металла; обеспечить однородность по химическому составу; содержать возможно большее количество легирующего элемента; иметь достаточную хрупкость для удобства дробления.

Составы наиболее применяемых лигатур при плавке цветных металлов и сплавов приведены в табл. 38—43.

2. Неметаллическая шихта

Флюсы. Основное назначение флюсов состоит в изоляции жидких сплавов от контакта с воздухом, уменьшении потери металла на угар, очистке сплавов от твердых, не растворимых в нем оксидов и других неметаллических включений.

В зависимости от назначения флюсы подразделяют на покровные, рафинирующие и универсальные.

Составы и назначение флюсов, применяемых при плавке цветных металлов и их сплавов, приведены в табл. 44—47.

Модификаторы. Модифицирование — процесс воздействия на кристаллизацию и структуру сплава (улучшение механических свойств) введением в расплавленный металл малых присадок (модификаторов), практически не изменяющих его химический состав.

Модификаторы улучшают механические свойства сплавов, так как при их введении измельчается структура, а вредные легкоплавкие примеси переводятся в тугоплавкие менее вредные соединения.

Состав модификаторов для алюминиевых, магниевых и медных сплавов приведен соответственно в табл. 48—50.

3. Методика расчета шихты

Для расчета шихты необходимы следующие данные: химический состав заданного сплава по ГОСТу или ТУ; оптимальный и расчетный состав сплава; химический состав исходных шихтовых материалов; угар отдельных компонентов сплава в процессе плавки.

При расчете необходимо учесть также компактность шихты (табл. 51), тип плавильной печи и состав атмосферы в плавильной камере, продолжительность плавки и другие факторы.

В зависимости от назначения сплава

44. Состав и назначение покровных и рафинирующих флюсов для алюминиевых сплавов [33, 39, 42]

Состав флюса, % (мас. доля)	Назначение флюсов
KCl 11,5; NaCl 56,5; Na_3AlF_6 7; NaF 25	Универсальные (рафинирующие и модифицирующие) для сплавов, в состав которых входит кремний
KCl 10; NaCl 50; Na_3AlF_6 10; NaF 30	
NaCl 45; Na_3AlF_6 15; NaF 40	
KCl 45; NaCl 55	Покровные для большинства сплавов, кроме алюминиево-магниевых
KCl 37; NaCl 50; Na_3AlF_6 6,6; $KCl \cdot MgCl_2$ 6,4	
KCl 46—42; NaCl 47—43; Na_3AlF_6 7—15	
KCl 47; NaCl 30; Na_3AlF_6 23	Рафинирующие для всех алюминиевых сплавов, не содержащих магния
$KCl \cdot MgCl_2$ 60; CaF_2 40	Рафинирующие для сплавов, содержащих магний
$CaCl_2$ до 10; $MgCl_2 \cdot KCl$ 80; $BaCl_2$ 5—8	
$MgCl_2 \cdot KCl$ 80; CaF_2 20	Покровные для алюминиево-магниевых сплавов
$MgCl_2 \cdot KCl$ 85; MgF_2 15	
$KCl \cdot MgCl_2$ 100	
$KCl \cdot MgCl_2$ 85; CaF_2 15	
$KCl \cdot MgCl_2$ 85; MgF_2 15	
KCl 50—55; LiCl 45—50	Покровные для алюминиево-литиевых сплавов

45. Состав и назначение покровных и рафинирующих флюсов для медных сплавов [15, 39, 57]

Состав флюса, % (мас. доля)	Назначение флюсов
SiO_2 41—47; MnO_2 25—32; Na_2O 10—15; Al_2O_3 11—14	Покровные для оловянных бронз при плавке в печах с шамотной футеровкой
SiO_2 50; $Na_3B_4O_7$ 30; CuO 20	
SiO_2 10—30; $Na_3B_4O_7$ 90—70	То же, но в печах с магнезитовой футеровкой
$Na_3B_4O_7$ 7; Na_2CO_3 60; CaF_2 33	Рафинирующие для оловянных бронз
SiO_2 30; Na_2CO_3 30; CaF_2 40	Покровные для кремнистых и простых латуней
Na_2CO_3 50; CaF_2 50	
Na_2CO_3 50; бой стекла 50	Покровные для алюминиевых бронз
CaF_2 50; MgF_2 50	Покровно-рафинирующие для бронз и латуней
CaF_2 20; NaF 60; Na_3AlF_6 20	*Рафинирующие для алюминиевых* бронз
NaCl 60; Na_3AlF_6 40	
$Na_3B_4O_7$ 28; NaCl 10; KCl 35; Na_3AlF_6 25; *древесный уголь* 2	
Na_2CO_3 10; CaF_2 20; NaF 30; Na_3AlF_6 20; Na_2SO_4 20	
$Na_3B_4O_7$ 6; Na_2CO_3 70; Na_3AlF_6 12; K_2CO_3 12	
Na_2CO_3 10; CaF_2 70; Na_2SO_4 20	

46. Химический состав и область применения флюсов для плавки магниевых сплавов [15, 39, 57]

Марка флюса	Состав флюса, % (мас. доля)										Область применения
	$MgCl_2$	KCl	NaCl	$CaCl_2$	$BaCl_2$	LiCl	CaF_2	Прочие компоненты	Нерастворимый осадок	H_2O	
ВИ-2	38—46	32—40	10	—	5—8	—	3—5	MgO до 1,5	До 1,5	До 3	Для плавки в стационарных печах и тиглях
ВИ-3	30—40	25—36	7	—	—	—	15—20	MgO 7—10	До 1,5	До 3	Для плавки в выемных тиглях
1	—	—	—	—	—	80	—	LiF 20	—	—	Для сплавов магния с литием
2	—	—	14—21	47—51	26—29	—	2—5	—	—	До 2	Для сплавов с редкоземельными металлами
3	—	22—26	17—20	35—39	19—23						
4	—	55	—	28	15	—	2	—	—	—	Для сплавов магния с торием и цирконием
ФЛ1	—	—	—	—	—	—	13	MgF_2 32; AlF_3 40; B_2O_3 15	—	—	Бесхлоридные флюсы
ВИАМ1	—	—	—	—	—	—	3,5	AlF_3 23,5; BrO_3 40; Na_3AlF_6 33	—	—	
ВИАМ5	—	—	—	—	—	—	17,5	MgF_2 17,5; AlF_3 15; BrO_3 50	—	—	

Примечание. Флюсы 2—4 — покровные; ВИ-2, ВИ-3 и 1 — покровно-рафинирующие; ФЛ1, ВИАМ1 и ВИАМ5 — универсальные.

47. Состав флюсов для плавки никелевых сплавов [39]

Номер флюса	Состав флюса, % (мас. доля)
1	CaO 100
2	CaO 50; CaF_2 50
3	CaO 70; CaF_2 30
4	CaF_2 50; MgF_2 50
5	Стекло (бутылочное) 100
6	MnO_2 30; NiO 30; Fe_2O_3 20; SiO_2 20

Примечание. Флюсы 5 и 6 — покровные для плавки в индукционных печах.

за расчетный состав может быть принят либо средний, либо оптимальный состав сплава. Если принят средний состав, то содержание отдельных элементов в сплаве указывают в некоторых пределах. Для получения оптимального состава принимают оптимальное содержание компонентов сплава.

Угар металла, возникающий в процессе плавки, является безвозвратной потерей. При расчете шихты потери на угар принимают обычно исходя из практических данных (табл. 52).

Пример 1. Рассчитать шихту для сплава АЛ5; плавка осуществляется в тигельной печи (примесями, содержащимися в исходном материале и готовом сплаве, при расчете пренебречь).

По ГОСТ 2685—75 сплав содержит, % (мас. доля): Si 5; Mg 0,4; Cu 1,25; алюминий — остальное.

48. Модификаторы для алюминиевых литейных сплавов [2, 60,61]

Состав модификатора	Количество модификатора	Расчетное количество модифицирующего элемента	Температура ввода модификатора, °С	Назначение модификаторов
	% (мас. доля)			
Лигатура Al—Ti (Ti 2—5)	1—3	Ti 0,05—0,15	720—750	Для измельчения макрозерна
Лигатура Al—Ti (Ti 5; B 1)	1—2	Ti 0,05—0,1; B 0,01—0,02		
«Зернолит» (K_2TiF_6 55; K_2SiF_6 3; KBF_4 27; C_2Cl_6 15)	0,2—0,5	B 0,01—0,02; Ti 0,05—0,1		
Металлический натрий	0,05—0,1	Na 0,05—0,1	750—780	Для модифицирования эвтектики и доэвтектических алюминиево-кремниевых сплавов
Флюс (NaF 67; NaCl 33)	1—2	Na 0,05—0,1	780—810	
Флюс (NaCl 62,5; NaF 25; KCl 12,5)	1—2	Na 0,05—0,1	730—750	
Флюс (NaCl 50; NaF 30; KCl 10; Na_3AlF_6 10)	0,5—1,0	Na 0,05—0,1	720—750	
Лигатура Al—Sr (Sr 10)	0,6—0,8	Sr 0,06—0,085	750—780	
Лигатура Cu—P (P 9—11)	0,2—0,4	P 0,05—0,1	750—780	Для модифицирования заэвтектических силуминов
Флюс (NaCl 35; KCl 35; K_2TiF_6 20; KBF_4 10)	0,5—1,0	B 0,01—0,02; Ti 0,05—0,1	720—750	Для измельчения макрозерна

49. Модификаторы для магниевых сплавов [33, 51]

Модификатор	Состав модификатора, % (мас. доля)	Подготовка к модифицированию	Назначение модификатора
Магнезит	MgO 42—48; CO_2 49—51 и летучие примеси: SiO_2 0,8—0,9; FeO 0,15—0,30; CaO 0,5—2,6; прочих примесей до 2	Просушивают при 150—200 °С до влажности не более 1 %, загружают кусками размером 10—25 мм	Модифицирование сплавов МЛ3, МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6
Мел марки А	$CaCO_3$ 100	Просушивают при 150—200 °С до влажности не более 1 %, размалывают и просеивают через сито с ячейками 0,2—0,5 мм	
Углекислый газ	CO_2 100	Просушивают до влажности не более 1 %	
Гексахлорэтан	Ca_2Cl_6 100	—	
Аммиак	NH_3 100	Просушивают до влажности не более 1 %	Модифицирование сплавов магний—цинк—РЗМ

В качестве шихтовых выбираем материалы, содержащие, % (мас. доля): чушковый первичный алюминий — чушковый силумин СИЛО (табл. 53 : Al 87; Si 13; лигатуры: алюминий — магний (Al 90, Mg 10), алюминий — медь (Al 50, Cu 50). Угар элементов составляет, % (мас. доля): кремния, меди и алюминия 1,0, магния 3.

Шихта рассчитывается на 100 кг сплава. Для учета угара отдельных элементов масса шихтовых материалов должна быть увеличена:

кремния на
$$(5 \cdot 1)/100 = 0{,}05 \text{ кг};$$
магния на
$$(0{,}4 \cdot 3)/100 = 0{,}012 \text{ кг};$$
меди на
$$(1{,}25 \cdot 1)/100 = 0{,}012 \text{ кг};$$
алюминия на
$$(93{,}36 \cdot 1)/100 = 0{,}933 \text{ кг}.$$

Расчетный состав шихты представляем в следующем виде:

	Si	Mg	Cu	Al	Всего
Средний химический состав, % (мас. доля)	5,0	0,4	1,25	93,35	100
Масса компонента на 100 кг шихты, кг	5,0	0,4	1,25	93,35	100
Угар, % (мас. доля)	1	3	1	1	—
Угар, кг	0,05	0,012	0,012	0,933	1,007
Расчетный состав шихты, кг	5,05	0,412	1,262	94,283	101,007

50. Модификаторы для медных сплавов

Модификатор	Количество модификатора в шихте, % (мас. доля)	Модифицируемый сплав
Ti	0,1—0,2	БрО10;
	0,04—0,2	БрО10Ц2; БрО10Ф1; БрО5Ц5С5; БрО3Ц12С5; БрО3Ц7С5Н1
	0,01—0,03	БрА9Ж3Л; БрА10Ж4А4; БрА9Мц2; БрА10Ж3Мц2
Zr	0,01—0,04	ЛЦ16К4; ЛЦ40Мц3Ж
	0,01—0,1	Оловянные и безоловянные бронзы, латуни
B	0,02—0,06	Оловянные бронзы
	0,05—0,1	Безоловянные бронзы
	0,005—0,01	Латуни
V	0,1—0,2	Бронзы безоловянные
	0,01—0,2	Латуни
Ti+B	0,05—0,2	Бронзы, латуни
Zr+B	0,01—0,02	Оловянные бронзы
V+B	0,05—0,2	Безоловянные бронзы

Примечания: 1. Структура алюминиевых бронз измельчается при действии перечисленных выше элементов в том случае, если бронзы содержат не менее 0,1—0,2% железа.

2. Для предотвращения вредного действия примесей висмута и свинца в медных сплавах применяют цирконий, литий, кальций и церий, которые образуют тугоплавкие соединения.

Затем определяем количество чушкового силумина и лигатур.

В шихту необходимо ввести:

силумина

$$(5{,}05 \cdot 100)/13 = 38{,}85 \text{ кг};$$

содержание Al в силумине

$$38{,}85 - 5{,}05 = 33{,}8 \text{ кг};$$

лигатуры Al—Mg

$$(0{,}412 \cdot 100)/10 = 4{,}12 \text{ кг};$$

содержание алюминия в лигатуре

$$4{,}12 - 0{,}412 = 3{,}708 \text{ кг};$$

лигатуры Al—Cu

$$(1{,}262 \cdot 100)/50 = 2{,}254 \text{ кг};$$

содержание Al в лигатуре

$$(2{,}254 \cdot 50)/100 = 1{,}262 \text{ кг}.$$

Масса чушкового алюминия составит

$$94{,}283 - (33{,}8 + 3{,}708 + 1{,}262) = 55{,}513 \text{ кг}.$$

Следовательно, для выплавки 100 кг сплава марки АЛ5 необходимы следующие массовые доли (кг) шихтовых материалов:

чушкового алюминия . . .	55,513
силумина	38,850
лигатуры алюминий—магний	4,120
лигатуры алюминий—медь	2,524
Всего:	101,007

Для отливок ответственного назначения необходимо проверить количество вредных примесей, вносимых исходными материалами.

Пример 2. Рассчитать шихту для выплавки бронзы среднего химического состава: с содержанием, % (мас. доля): Sn 5; Zn 5; Pb 5; Cu — остальное.

Пусть шихта состоит из 60 % свежих металлов и 40 % отходов собственного производства того же сплава. Расчет проведем на 100 кг сплава без учета примесей в исходном материале и сплаве. Примем, что угар олова и меди составляет по 1 %, цинка и свинца — по 2 %.

Увеличим количество шихтовых материалов на величину потерь от угара (см. табл. 52): олова на 5 ×

51. Характеристики шихтовых материалов

Шихтовый материал	Плотность, кг/м³	Насыпная плотность, кг/м³	Температура плавления, °С	Удельная поверхность, м²/кг
Алюминий и сплавы алюминия в чушках	2500—2700	1000—1500	590—665	0,014—0,025
Лом алюминия и алюминиевых сплавов	2550—2700	500—1500	590—665	0,01—0,04
Стружка алюминиевых сплавов дробления и мелкий лом	2550—2700	400—800	590—665	0,28—0,32
Магний и сплавы магния в чушках	1740—1850	700—1000	590—650	0,02—0,05
Лом магниевых сплавов	1740—1850	600—1000	590—650	0,015—0,07
Свинец в чушках	11 340	4500—5500	327	0,0050—0,01
Олово в чушках	7 300	3500—4200	323	0,0074—0,013
Медь и медные сплавы в чушках	7800—8950	5000	900—1150	0,0074—0,013
Лом меди и медных сплавов	7800—8950	1500—3000	900—1150	0,005—0,02
Стружка меди и медных сплавов	7800—8950	2000—2500	900—1150	0,14—0,16

× 1/100 = 0,05 кг; цинка на 5 × × 2/100 = 0,1 кг; свинца на 5 × × 2/100 = 0,1 кг; меди на 85 × × 1/100 = 0,85 кг.

Исходные и расчетные данные:

	Sn	Zn	Pb	Cu	Всего
Средний химический состав сплава, % (мас. доля)	5	5	5	85	100
Масса компонента на 100 кг шихты, кг	5	5	5	85	100
Угар, % (мас. доля)	1	2	2	1	—
Угар, кг	0,05	0,1	0,1	0,85	1,1
Расчетная масса шихты, кг . .	5,05	5,1	5,1	85,85	101,1
Содержание в цеховом возврате [40 % (мас. доля)], кг	2,0	2,0	2,0	34	40
Содержание в свежих металлах [60 % (мас. доля)], кг	3,05	3,10	3,10	51,85	61

Рассчитанный состав (кг) шихты для выплавки 500 кг бронзы следующий:

Sn	3,05·5 = 15,25;
Zn	3,10·5 = 15,50;
Pb	3,10·5 = 15,50;
Cu	51,85·5 = 259,25
Возврат БрО5Ц5С5	40·5 = 200,00
Всего:	505,50

Аналитический метод расчета шихты для выплавки бронзы БрО5Ц5С5. Компоненты шихты, их химический состав и содержание в шихте приведены в табл. 54.

Угар элементов, % (мас. доля): Sn 1; Pb 1,5; Zn 4. Необходимое содержание элементов в шихте, % (мас. доля): $Sn_ш$ 5,05 (5·100)/(100 — 1); $Pb_ш$ 5,08; $Zn_ш$ 5,20.

Балансовые уравнения по:

Sn — X : 10/100 + Z·4/100 = 5,05;

Zn — X : 2,5/100 + Z·4/100 + $П$ × × 30/100 = 5,20;

Pb — Y : 30/100 + Z·6/100 = 5,08;

52. Угар [% (мас. доля)] некоторых компонентов при плавке цветных сплавов

Сплав	Тип плавильной печи	Al	Mg	Cu	Ni	Zn	Pb	Mn
Алюминиевые	Тигельная	0,8—1,0 / 2—3	2—3 / 3—5	0,5—1,0 / 1,0—1,2	0,5—1,0 / 1,0—1,2	До 2 / 2—5	— / —	1,0—1,5 / 2—3
	Отражательная	2—3 / 3—5	3—5 / 5—10	1,0—1,2 / 1,0—1,5	1,0—1,2 / 1,0—1,5	2—3 / До 10	— / —	2—5 / 5—10
Магниевые	Тигельная	0,5—1,0 / 1,0—1,5	1,0—1,5 / 2—3	— / —	— / —	1,5 и более / 2—3	— / —	До 1,0 / 1—3
	Отражательная	1,0—1,5 / 1,5—2	1,5—2,0 / 2—5	— / —	— / —	1,0—3,0 / 3—5	— / —	1,0—3,0 / 3—10
Медные	Тигельная	1,0—1,5 / 2—5	До 5 / 10 и более	0,5—1,0 / 1—2	0,5—1,0 / 1,0—1,5	2—3 / 3—5	0,5—1,0 / 1—2	1,0—1,5 / До 5
	Отражательная	2—3 / До 5	5—10 / 10—20	1,0—1,5 / 2—3	1,0—1,5 / 1,5—2,0	5—10 / До 20	1,0—2 / До 5	2—3 / До 10
Никелевые	Тигельная	1—2 / 2—5	— / —	1,0—1,5 / 1,5—2,0	0,5—1,0 / 1,0—1,5	— / —	1—2 / 2—5	— / —

Сплав	Тип плавильной печи	Ti	Zr	Be	Li	Sn	P	Cd	Sl
Алюминиевые	Тигельная	1—1,5 2—5	1—2 2—5	2—3 5—10	До 10 15 и более	0,5 1—1,5	— —	До 2 5 и более	1—1,5 2—3
	Отражательная	2—5 5—10	3—5 5—10	5—7 10—20	15 и более 20 и более	1,5 До 2	— —	5 и более 10 и более	2—5 5—10
Магниевые	Тигельная	— —	До 1 1—5	До 3 5—10	3 и более 5 и более	— —	— —	1—1,5 До 3	До 1 1—3
	Отражательная	— — До 5	2—5 3—10 —	5—10 10—20 2—3	5 и более 20 и более —	— — 0,5—1	— — До 30	3—5 5—10 —	2—3 3—5 До 1
Медные	Тигельная	10 и более	—	3—5	—	1—1,5	50 и более	До 20	5 и более
	Отражательная	10 и более 30 и более	— —	3—5 До 10	— —	1—1,5 До 3	30—40 До 70	15—40 40—50	1—5 5—10
Никелевые	Тигельная	10 и более 20 и более	— —	— —	— —	1—1,5 1,5—3	— —	— —	1—3 2—5

Примечание. В числителе дроби — угар элемента при плотной шихте, в знаменателе — при некомпактной.

55. Химический состав [% (мас. доля)] компонентов шихты для выплавки

Компоненты шихты	Содержание компонента в шихте, %	Основные			
		Sn		Zn	
		1	2	1	2
Состав шихты	—	5,05		5,20	
Возврат БрО5Ц5С5	40	4	1,6	4	1,6
Необходимо добавить:	60	—	3,45	—	3,60
О4	3,5	96,35	3,45	—	—
Ц3	3,69	—	—	97,5	3,6
С3	2,35	—	—	—	—
М4	51,96	—	—	—	—
Итого:	101,5	—	5,05	—	5,20

Примечание. В графах с номером 1 приведено содержание основных компонентов в шихте.

53. Химический состав [% (мас. доля)] силумина в чушках (Al — основа; содержание Si 10—13) (по ГОСТ 1521—76)

Марки силумина	Примеси, не более			
	Fe	Mn	Ca	Ti
СИЛ-00	0,20	0,05	0,07	0,05
СИЛ-0	0,35	0,10	0,1	0,10
СИЛ-1	0,50	0,5	0,1	0,15
СИЛ-2	0,70	0,5	0,2	0,20

$$X + Y + Z + П = 100;$$
$X = 24{,}8\ \%$; $Y = 3{,}97\ \%$; $Z = 64{,}81\ \%$; $П = 6{,}64\ \%$.

Арифметический метод расчета шихты для выплавки бронзы БрО5Ц5С5.

Угар элементов, % (мас. доля): Sn 1; Pb 1,5; Zn 4; Cu 1.

Необходимое содержание элементов в шихте, % (мас. доля): Sn 5,05; Pb 5,08; Zn 5,20 и Cu 85,85.

54. Химический состав [% (мас. доля)] компонентов шихты для выплавки бронзы БрО5Ц5С5

Компоненты шихты	Основные элементы				Компонента
	Sn	Pb	Zn	Cu	
БрО10Ц2	10	—	2,5	Остальное	*X*
БрС30	—	30	—	»	*Y*
Возврат БрО5Ц5С5	4	6	4	»	*Z*
ЛЦ32	—	—	30	»	*П*

Компоненты шихты, их химический состав и расчетное содержание в шихте приведены в табл. 55.

бронзы БрО5Ц5С5 с учетом примесей

элементы, %				Примеси					
Pb		Cu		Sb		Fe		Al	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
5,08		85,85		0,5		0,5		0,5	
6	2,4	86	34,40	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2
—	2,68	—	51,95	—		—		—	
3,0	0,10	—	—	0,3	0,01	0,05	0,00	—	—
2,0	0,07	—	—	—	—	0,10	0,00	—	—
99,90	2,35	—	—	0,005	0,000	0,005	0,000	—	—
0,3	0,15	99,0	51,45	0,005	0,002	0,05	0,000	—	—
—	5,07	—	85,85	—	0,21	—	0,2	—	0,2

элементов и примесей в компоненте; в графах номер 2 — содержание этих же

Глава IV
ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ

1. Алюминиевые сплавы

Сплавы на основе алюминия делятся на две группы — литейные и деформируемые Согласно ГОСТ 2685—75 установлено 37 марок литейных алюминиевых сплавов.

Классификация алюминиевых сплавов. Компоненты литейных алюминиевых сплавов разделяют на три группы:

первая группа — основные легирующие компоненты (Mg, Cu, Si), способствующие резкому изменению природы сплавов; в сплавах Al—Cu, Al—Mg и Al—Mg—Si образуются интерметаллиды, а в сплавах Al—Si образуется эвтектика; сочетание интерметаллидов и эвтектики с переменной растворимостью элементов в твердом алюминии обеспечивает возможность использования различных методов упрочнения;

вторая группа — вспомогательные легирующие элементы (Mn, Cr, V, Ti, Zr, Mo, Ni, Nb и др), вводятся в сплавы в значительно меньшем количестве, чем компоненты первой группы, образуют с алюминием эвтектические или перитектические блоки и устойчивые тугоплавкие интерметаллиды, улучшающие те или другие физико-механические свойства двойных сплавов;

третья группа — модифицирующие элементы (Na, K, Be, Ca, Sr, Bi, Cd), незначительно растворяющиеся в твердом алюминии, используются в виде небольших добавок (до 0,2 %) для улучшения технологических свойств, измельчения структуры (т. е. повышения прочности и пластичности сплавов), изменения формы кристаллизации железосодержащей фазы в алюминиевых сплавах и тем самым снижения степени вредного влияния железа в сплавах.

Элементы, попадающие в сплавы случайно с исходными основными компонентами, относятся к примесям, содержание которых в зависимости от требований к отливкам и условий их работы оговаривается ГОСТом или ТУ.

В зависимости от химического состава алюминиевые сплавы (по ГОСТ 2685—75) подразделяют на пять групп.

Первая группа (табл. 1) — сплавы на основе Al и Si (силумины); для получения мелкозернистой структуры необходимо применять модифицирование.

Вторая группа (табл. 2) — сплавы на основе системы Al—Si—Cu; хорошие литейные свойства объясняются оптимальным сочетанием содержания кремния и меди; такое содержание легирующих элементов позволяет применять термическую обработку для повышения механических свойств сплавов.

Третья группа (табл. 3) — сплавы на основе системы Al—Cu; обладают способностью к термической обработке, после чего улучшаются их механические свойства, литейные свойства хуже, чем у силуминов.

Четвертая группа (табл. 4) — сплавы на основе системы Al—Mg; обладают повышенными механическими свойствами за счет легирования титаном, бериллием, цирконием; сплавы этой группы выдерживают высокие статические и ударные нагрузки.

Пятая группа (табл. 5) — сплавы на основе системы Al — прочие элементы (Ni—Ti и др.); обладают жаропрочными свойствами, т. е. хорошо работают при повышенных температурах; то же можно сказать и о давлениях.

Возможность применения того или

1. Химический состав [% (мас. доля)] алюминиевых сплавов первой группы (по ГОСТ 2685—75)

Марка сплава	Легирующие элементы (Al—основа)				Сумма определяемых примесей		
	Mg	Si	Mn	Ti	$П, B_2O_3$	К	Д
АЛ2	—	10—13	—	—	2,1	2,2	2,7
АЛ4	0,17—0,3	8—10,5	0,2—0,5	—	1,1	1,4	1,5
АК9 (АЛ4В)	0,2—0,4	8—11	0,2—0,5	—	2,6	2,8	3,0
АЛ9	0,2—0,4	6—8	—	—	1,1	1,5	2,0
АК7 (АЛ9В)	0,2—0,5	6—8	—	—	3,7	3,8	4,1
АЛ4-1	0,17—0,3	8—10,5	0,2—0,5	0,08—0,15	0,6	0,6	0,6
АЛ9-1	0,25—0,4	7—8	—	0,08—0,15	0,6	0,6	0,6
АЛ34 (ВАЛ5)	0,35—0,55	6,5—8,5	—	0,1—0,3	1,0	1,0	—

Примечание. В сплаве АЛ34 (ВАЛ5) в качестве легирующего элемента добавляют 0,15—0,4 % (мас. доля) Be.

2. Химический состав [% (мас. доля)] алюминиевых сплавов второй группы (по ГОСТ 2685—75)

Марка сплава	Легирующие элементы (Al—основа)					Сумма определяемых примесей		
	Cu	Si	Mg	Mn	Ti	$П, B_2O_3$	К	Д
АЛ3	1,5—3	4,5—5,5	0,35—0,6	0,6—0,9	—	1,1	1,7	1,9
АК5М2 (АЛ3В)	1,5—3,5	4—6	0,2—0,4	—	—	2,0	2,1	2,3
АЛ5	1—1,5	4,5—5,5	0,35—0,6	—	—	1,0	1,3	1,7
АЛ5-1	1—1,5	4,5—5,5	0,4—0,55	—	0,08—0,15	0,6	0,6	0,6
АЛ6	2—3	4,5—6,0	—	—	—	1,7	1,9	2,1
АК5М7 (АЛ10В)	6—8	4,5—6,5	0,2—0,5	—	—	2,5	2,7	—
АК7М2 (АЛ14В)	1,5—3,0	6—8	0,2—0,6	—	—	1,8	2,0	2,0
АК4М4 (АЛ15В)	3,5—5,0	3—5	—	0,2—0,6	—	4,0	4,1	—
АЛ32	1—1,5	7,8—8,5	0,3—0,5	0,1—0,3	—	0,9	1,0	1,1

3. Химический состав [% (мас. доля)] алюминиевых сплавов третьей группы (по ГОСТ 2685—75)

Марка сплава	Легирующие компоненты (Al — основа)				Другие элементы	Сумма определяемых примесей	
	Cu	Mn	Ni	Ti		П, О, В	К
АЛ7	4—5	—	—	—	—	2,1	2,1
АЛ19	4,5—5,3	0,6—1,0	—	0,15—0,35	—	0,9	—
АЛ33 (ВАЛ1)	5,5—6,2	0,6—1,0	0,8—1,2	—	0,15—0,3 Cl; 0,05—0,2 Zr	0,5	0,5

4. Химический состав [% (мас. доля)] алюминиевых сплавов четвертой группы (по ГОСТ 2685—75)

Марка сплава	Легирующие элементы (Al—основа)						Другие элементы	Сумма определяемых примесей		
	Mg	Si	Mn	Ti	Be	Zr		П, О, В	К	Д
АЛ8	9,5—11,5	—	—	—	—	—	—	1,0	1,0	—
АЛ8М	9—10,5	—	—	0,1—0,15	—	—	Mo 0,1; Be 0,07 Zr (0,1—0,15)	—	—	—
АЛ27	9,5—11,5	—	—	0,05—0,15	0,05—0,15	0,05—0,2	—	0,5	0,5	0,5
АЛ27-1	9,7—11,5	—	—	0,05—0,15	0,05—0,15	0,05—0,2	—	0,1	0,1	0,1
АЛ13	4,5—5,5	0,8—1,3	0,1—0,4	—	—	—	—	0,6	0,6	1,8
АЛ22	10,5—13,0	0,8—1,2	—	0,05—0,15	0,03—0,07	—	—	0,6	1,1	1,3
АЛ23	6—7	—	—	0,05—0,15	0,05—0,1	0,05—0,2	—	0,5	0,5	—
АЛ23-1	6—7	—	—	0,05—0,15	0,02—0,15	0,05—0,2	—	0,1	0,1	—
АЛ28	4,8—6,3	—	0,4—1,0	0,05—0,15	—	—	—	0,5	0,6	0,7

5. Химический состав [% (мас. доля)] алюминиевых литейных сплавов пятой группы (по ГОСТ 2685—75)

Марка сплава	Легирующие элементы (Al—основа)			
	Mg	Si	Mn	Cu
АЛ1	1,25—1,75	—	—	3,75—4,5
АЛ11	0,1—0,3	6—8	—	—
АЛ24	1,5—2,0	—	0,2—0,5	—
АЛ21	0,8—1,3	—	0,15—0,25	4,6—6,0
АЛ25	0,8—1,3	11—13	0,3—0,6	1,5—3,0
АЛ30	0,8—1,3	11—13	—	0,8—1,5
АК21М2, 5Н2,5 (ВКЖЛС-2)	0,2—0,5	20—22	0,2—0,4	2,2—3,0
АК4М2ЦБ (АЛ-17В)	0,1—0,3	3,5—5,5	0,4—0,7	1,5—3,0

Марка сплава	Легирующие элементы (Al — основа)		Другие элементы	Сумма определяемых примесей		
	Ni	Ti		П, О, В	К	Д
АЛ1	1,75—2,25	—	—	1,4	1,4	—
АЛ11	—	—	7—12 Zn	1,7	1,9	2,5
АЛ24	—	0,1—0,2	3,5—4,5 Zn	0,9	—	—
АЛ21	2,6—3,6	—	0,1—0,2 Cr	1,3	1,3	—
АЛ25	0,8—1,3	0,05—0,2	—	—	1,1	—
АЛ30	0,8—1,3	—	—	—	1,1	—
АК21М2, 5Н2,5 (ВКЖЛС-2)	2,2—2,8	0,1—0,3	0,2—0,4 Cr	—	1,1	—
АК4М2ЦБ (АЛ-17В)	—	—	5,0—7,0 Zn	1,7	2,0	—

Примечание. В сплаве АЛ25 содержание Cr не должно превышать 0,2 % (мас. доля).

6. Химический состав [% (мас. доля)] литейных алюминиевых сплавов в чушках (по ГОСТ 1583—73 Е)

Сплав	Легирующие элементы (Al—основа)				Сумма определяемых примесей
	Mg	Si	Mn	Cu	
АК7	0,2—0,5	6,0—8,0	0,2—0,6	—	3,0
АК5М2	0,2—0,8	4,0—6,0	0,2—0,8	1,5—3,5	2,8
АК5М4	0,2—0,5	3,5—6,0	0,2—0,6	3,0—5,0	2,8
АК5М7	0,3—0,6	4,5—6,0	—	6,0—8,0	2,6
АК8М3	—	7,5—10,0	—	2,0—4,5	3,2
АК9М2	0,2—0,8	7,5—9,5	0,1—0,4	0,5—2,0	2,5
АК10	0,1—0,5	8,0—11,0	—	—	5,0
АК11М2	—	10,0—12,0	—	1,5—3,5	3,0
АК9	0,2—0,4	8,0—11,0	0,2—0,5	—	2,4
АК9с	0,2—0,35	8,5—10,5	0,2—0,5	—	1,35

Примечание. В сплавах АК5М2, АК5М4 и АК9М2 содержится по 0,05—0,2 % (мас. доля) Ti.

7. Маркировка алюминиевых литейных сплавов в чушках (по ГОСТ 1583—73)

Марка сплава	Чушки маркируются цветными полосами
АК7	Белой, красной
АК9	Белой, желтой
АК9с	Белой, двумя желтыми
АК5М2	Черной, синей, красной
АК8М3	Белой, синей
АК5М4	Черной, двумя синими
АК5М7	Черной, красной
АК9М2	Белой, желтой, белой
АК10	Черной
АК11М2	Белой, черной, белой

иного сплава определяют по его механическим, физическим и технологическим свойствам, а также с учетом экономической характеристики сплава, которая во многих случаях является решающей.

Вторичные чушковые литейные сплавы получают при переработке стружки, отходов, металлического привозного лома. Химический состав вторичных алюминиевых литейных сплавов в чушках, используемых в качестве шихтовых материалов (табл. 6), должен соответствовать требованиям ГОСТ 1583—73. Чушки на торцах маркируются вертикальными цветными полосами (табл. 7).

Физические и механические свойства литейных алюминиевых сплавов. Основными физическими свойствами (табл. 8), влияющими на процессы приготовления сплавов и затвердевания отливок, являются теплоемкость, теплопроводность и теплота плавления.

8. Физические свойства литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Плотность, кг/м³	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м при 20 °С	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при температуре, °С			Теплопроводность [Вт/(м·°С)] при температуре, °С		Теплоемкость [Дж/(г·°С)] при температуре, °С	
			20—100	20—200	20—300	20	300	100	300
АЛ1	2750	0,0528	22,3	23,2	24,4	42	37	0,19	0,22
АЛ2	6650	0,0548	21,1	22,1	23,3	40	42	0,20	0,22
АЛ3	2700	0,0449	22,0	23,2	24,0	39	38	0,22	0,26
АЛ4	2650	0,0468	21,7	22,5	23,5	35	38	0,18	0,20
АЛ5	2680	0,0462	23,1	23,9	25,2	38	42	0,20	0,28
АЛ6	2750	—	—	—	—	34	—	—	—
АЛ7	2800	0,0433	23,0	—	25,0	37	42	0,20	0,21
АЛ8	2550	0,0912	24,5	25,6	23,3	22	26	0,25	0,26
АЛ9	2660	0,0457	23,0	24,0	24,5	35	40	0,21	0,24
АЛ11	2940	—	—	24,4	26,6	26,6	—	0,21	0,25
АЛ24	2740	—	23,2	24,5	25,2	28	—	—	—
АЛ19	2780	0,0595	19,5	21,9	25,6	25	34	0,2	0,25
АЛ21	2830	0,0572	22,9	24,6	27,8	27	35	0,19	0,23
АЛ22	2500	0,103	24,5	25,6	27,3	20	24	0,22	0,25
АЛ25	2720	0,050	19,0	20,5	21,0	38	38	—	—
АЛ27-1	2550	0,080	24,5	25,6	—	22	26	0,22	0,26
АЛ23	2550	—	24,5	25,6	—	—	29,7	0,22	0,26
АЛ23-1	2500	—	—	25,6	—	—	28,5	0,22	0,26
АЛ13	2600	0,0643	20,0	—	—	30	—	0,23	—
АЛ26	2680	0,0560	17,5	—	18,5	40	42	—	—
АЛ20	2740	0,0518	18,1	—	24,4	31	35	0,21	0,22
АЛ33	2890	0,0545	23,8	—	—	32	37	—	—
АК5М7	2500	0,1030	22,3	—	24,4	40	42	—	—

Для отливок специального назначения физические свойства сплавов имеют определяющее значение, так как от этих свойств зависят в основном структуры сплавов, фазовый состав, а следовательно, и режимы термической обработки.

Электрическое сопротивление металлов и сплавов необходимо учитывать при плавке в индукционных печах. При достижении температуры плавления электросопротивление большинства металлов увеличивается в 2—10 раз по сравнению с сопротивлением при комнатной температуре.

Механические свойства алюминиевых литейных сплавов должны соответствовать ГОСТ 2685—75 (табл. 9), а механические свойства алюминиевых литейных сплавов в чушках — ГОСТ 1583—73 (табл. 10).

Технологические свойства алюминиевых сплавов (табл. 11) влияют на качество отливок. К этим свойствам сплавов относятся: жидкотекучесть, усадка (объемная и линейная), склонность к образованию пористости и раковин, склонность к образованию литейных напряжений и трещин, газопоглощение и образование неметаллических включений, пленообразование и склонность к образованию грубозернистой и столбчатой структуры.

Особенности литейных алюминиевых сплавов и области их применения. Литейные алюминиевые сплавы имеют ряд особенностей: повышенную жидкотекучесть, обеспечивающую получение тонкостенных и сложных по конфигурации отливок; сравнительно невысокую линейную усадку; пониженную склонность к образованию горячих трещин. Кроме того, алюминиевые сплавы обладают высокой склонностью к окислению, насыщению водородом, что приводит к таким видам брака отливок, как газовая пористость, шлаковые включения и оксидные включения. Поэтому при разработке технологии плавки и изготовлении фасонных отливок любым из способов литья необходимо учитывать особенности отдельных групп алюминиевых сплавов.

Наибольшее распространение в промышленности имеют сплавы Al—Si, Al—Si—Mg (АЛ2, АЛ4, АЛ4-1, АЛ9, АЛ9-1, АЛ34, АК9, АК7), которые отличаются хорошими технологическими свойствами, определяемыми видом диаграмм состояния. Литейные свойства обеспечиваются наличием в сплавах большого количества двойной эвтектики $\alpha + Si$ (40—75 %) каркасно-матричного типа, основой которой является α-твердый раствор, что обусловливает высокую жидкотекучесть сплавов, а также низкую литейную усадку и пониженную склонность к образованию горячих трещин.

При увеличении количества эвтектики в сплавах уменьшается склонность к образованию усадочных микрорыхлот, что повышает герметичность отливок.

Сплавы Al—Si при испытании на герметичность разрушаются без течи, что обусловлено их прочностью и пластичностью. Процесс кристаллизации этих сплавов протекает в узком температурном интервале и идет сплошным фронтом от периферийной зоны (стенок формы) к внутренним зонам отливок, что вызывает образование между первичными кристаллами сплошного слоя мелкозернистой эвтектики. Это препятствует образованию сквозных усадочных каналов между зернами твердого раствора.

С повышением содержания кремния в сплавах понижается коэффициент термического расширения и получается более грубая структура, что приводит к охрупчиванию сплава и ухудшению обрабатываемости резанием. Для измельчения включений кремния в эвтектике используют модифицирование Na, Li, CaSr, повышающее пластические свойства ($\delta = 5 \div 8$ %).

Для модифицирования силуминов применяют смеси хлористых и фтористых солей натрия и калия различного состава, при этом сплавом усваивается около 0,01 % Na.

При модифицировании Na отмечается переохлаждение эвтектики на 15—30 °С, а эвтектическая точка сдвигается к 13—15 % Si. Эффект модифицирования тем больше, чем выше содержание кремния в сплаве, так как модификатор воздействует только на эту фазу. Для силуминов, содержащих менее 5—7 % Si, модифицирование не оказывает

9. Механические свойства литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Способ литья	Термическая обработка	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
			не менее		
	Первая группа сплавов				
АЛ2	ПМ, ОМ, ВМ, КМ	—	147	4	
	К	—	157	2	
	Д	—	157	1	50
	ПМ, ОМ, ВМ, КМ	Т2	137	4	
	К	Т2	147	3	
	Д	Т2	147	2	
АЛ4	П, О, В, К, Д	—	147	2	50
	К, Д	Т1	196	1,5	60
	ПМ, ОМ, ВМ	Т6	226	3	70
	К, КМ	Т6	235	3	70
АЛ4-1	П, О, В, К, Д	—	157	2	50
	КД	Т1	196	1,5	70
	ПМ, ОМ, ВМ	Т6	245	3	70
	К, КМ	Т6	265	3	70
АЛ9	П, О, В, К	—	157	2	50
	Д	—	168	1	50
	П, О, В, К, Д	Т2	137	2	45
	КМ	Т4	186	4	50
	П, О, В	Т4	177	4	50
	К, М	Т5	206	2	60
	П, О, В	Т5	196	2	60
	ПМ, ОМ, ВМ	Т5	196	2	60
	ПМ, ОМ, ВМ	Т6	226	1	70
	ПМ, ОМ, ВМ	Т7	196	2	60
	ПМ, ОМ, ВМ	Т8	157	3	55
АЛ9-1	П, О, В	Т4	196	5	50
	К, КМ	Т4	226	5	50
	П, О, В	Т5	235	4	60
	ПМ, ОМ, ВМ	Т5	235	4	60
	К, КМ	Т5	265	4	60
	ПМ, ОМ, ВМ	Т6	275	2	70
	К, КМ	Т6	294	3	70
	Д	—	196	1	50
	Д	Т2	168	2	45
	ПМ, ОМ, ВМ	Т7	206	2	60
	ПМ, ОМ, ВМ	Т8	168	3	55
АЛ34 (ВАЛ5)	П	Т5	294	2	85
	П	Т4	255	4	70
	К	Т5	334	4	90
	К	Т4	275	6	80

Продолжение табл. 9

Марка сплава	Способ литья	Термическая обработка	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
			не менее		
АК9 (АЛ4В)	П, К	—	157	—	70
	П	Т6	235	0,5	80
	К	Т6	245	0,5	90
АК7 (АЛ9В)	П	—	128	0,5	60
	К	—	157		60
	П	Т5	196		75
	К	Т5	216		75
	Вторая группа сплавов				
АЛ3	К	—	168	0,5	65
	П, О, В	—	137	0,5	65
	П, О, В, К	Т1	168	—	70
	П, О, В, К	Т2	147	1	65
	П, О, В	Т5	216	0,5	75
	К	Т5	245	0,5	75
	П, О, В, К	Т7	206	1	70
	П, О, В, К	Т8	177	2	65
	Д	—	147	0,5	55
АК5М2 (АЛ3В)	З	—	118	—	65
	К	—	157	0,5	65
	З	Т5	206	—	75
	К	Т5	235	0,5	75
	З	Т8	147	1	65
	К	Т8	177	2	65
	Д	—	147	0,5	65
АЛ5	П, О, В, К	Т1	157	0,5	65
	П, О, В	Т5	196	0,5	70
	П, О, В	Т6	226	0,5	70
	П, О, В, К	Т7	177	1	65
АЛ5-1	П, О, В, К	Т5	270	0,5	70
АЛ6	П, О, В, К	Т2	147	1	45
	Д	—	147	1	45
АК5М7 (АЛ10В)	П	—	128	—	80
	К	—	157	—	80
	К	Т1	168	—	90
	П	Т1	147	—	80
АК7М2 (АЛ14В)	П	—	128	0,5	70
	К	—	168		70
	П	Т5	196		85
	К	Т5	235		85

Продолжение табл. 9

Марка сплава	Способ литья	Термическая обработка	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
			не менее		
АК4М4	П	—	147	—	70
	К	—	177	0,5	70
	П	Т5	196	—	80
	К	Т5	216	0,5	80
АЛ32	П	Т6	245	2	60
	К	—	186	1	50
	К	Т6	265	2	70
	Д	—	265	3	70
***Третья группа** сплавов*					
АЛ7	П, О, В	Т4	196	6	60
	К	Т4	206		60
	П, О, В	Т5	216	3	70
	К	Т5	226		70
АЛ33	П, К	Т4	226	2,6	75
	П, К	Т5	255	1,5	85
АЛ19	П	Т7	314	2	85
	П, О, В, К	Т4	294	8	70
	П, О, В, К	Т5	334	4	40
Четвертая группа сплавов					
АЛ8	П, О, В, К	Т4	284	9	60
АЛ27	П, О, К, Д	Т4	314	12	75
АЛ27-1	П, О, К, Д	Т4	344	15	75
АЛ13	П, О, В, К	—	147	2	55
	Д	—	168	0,5	55
АЛ22	П, О, В, К	—	177	1	90
	П, О, В, К	Т4	226	1,5	
	Д	—	196	1	

Продолжение табл. 9

Марка сплава	Способ литья	Термическая обработка	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
			не менее		
АЛ23	П, О	—	186	4	90
	К, Д	—	216	6	
	П, О, К	Т4	226	6	
АЛ23-1	П, О	—	196	5	90
	К, Д	—	235	10	
	П, О, К	Т4	245	10	
АЛ28	П, О, В	—	196	4	55
	К	—	206	5	
	Д	—	206	3,5	
	Пятая группа сплавов				
АЛ1	П, О, В, К	Т5	206	0,5	95
	П, О, В, К	Т7	177	1	80
АЛ11	П, О, В	—	196	2	80
	К	—	245	1,5	90
	Д	—	177	1	60
АЛ21	П, О, В	Т2	177	1	60
	П, О, В	Т7	206	1	75
АЛ24	П, О, В	—	216	2	60
	П, О, В	Т5	265	2	70
АЛ25	К	Т1	186	—	90
АЛ30	К	Т1	196	0,5	90
АК21М2Н2,5 (ВКЖЛС2)	К	Т1	186	—	100
	К	Т2	157	—	90
АК4М2Ц6 (АЛ17В)	П	—	177	1	60
	К	—	196	1	75
	П	Т1	186	—	70
	К	Т1	216	—	80
	П	Т4	196	1	70
	К	Т4	216	1,5	80
	П	Т5	196	—	70
	К	Т5	235	—	85

Примечание. В графе «Способ литья» буква М означает, что сплав подвергается модифицированию.

10. Механические свойства литейных алюминиевых рафинированных сплавов в чушках

Марка сплава	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
	не менее		
АК5М2	165	0,5	70
АК9	180	1,0	70
АК7	165	1,0	70
АК5М7	170	0,5	85
АК5М4	180	0,5	80

влияние на механические свойства.

Для получения эффекта упрочнения при термической обработке в двойные сплавы вводят добавки магния и меди раздельно или совместно, при этом компоненты сплава образуют интерметаллиды с переменной растворимостью в твердом состоянии, которые являются эффективными упрочнителями при термической обработке.

На фазовый состав сплавов типа силумина специфическое влияние оказывает железо, содержание которого как примеси в промышленных сплавах составляет обычно не менее 0,4—0,5 %. Железо в сплавах Al—Si образует соединение β (Al—Fe—Si) в виде хрупких пластин, которые резко снижают пластичность. Отрицательное влияние железа эффективно снижает добавка 0,2—0,5 % Mn, при этом образуется новая фаза α (Al—Fe—Si—Mn) в виде компактных равноосных полиэдров, которые в меньшей степени влияют на пластичность.

Достоинством сплавов на основе системы Al—Si является повышенная коррозионная стойкость во влажной и морской атмосферах (АЛ2, АЛ4 и АЛ9).

Недостатки этих сплавов — повышенная газовая пористость и пониженная жаропрочность. Технология литья этих сплавов более сложная и требует применения операций модифицирования и кристаллизации под давлением в автоклавах. Особенно это относится к сплаву АЛ4.

Из сплава АЛ2 (эвтектический) изготовляют малонагруженные детали (приборов, агрегатов и двигателей, бытовых изделий) литьем в песчаные формы, кокиль, под давлением, в оболочковые формы и по выплавляемым моделям.

Получаемые отливки плотны, герметичны, имеют концентрированную усадочную раковину. Сплав применяют в модифицированном состоянии, без термической обработки, в отдельных случаях может быть применен режим Т2.

Доэвтектические силумины (АЛ4, АЛ9, АЛ1-1, АЛ9-1, АЛ34) несколько уступают по технологическим свойствам эвтектическому сплаву АЛ2, но имеют более высокие механические свойства за счет образования соединения Mg_2Si, которое влияет на прочность сплава. Применяются сплавы в закаленном и искусственно состаренном состояниях. Пониженное содержание кремния позволяет использовать сплавы без модифицирования в тех случаях, когда необходимы повышенные скорости охлаждения — литье под давлением и в кокиль. При литье в песчаные формы и по выплавляемым моделям силумины модифицируют.

Сплавы АК7 и АК9 отличаются от сплавов АЛ4 и АЛ9 повышенным содержанием примесей, но меньшей пластичностью. Поэтому их не рекомендуют для деталей, работающих в условиях повышенных вибраций. Применяют сплавы АЛ4, АЛ9, АК9, АК7 для наиболее ответственных отливок, сложных и крупногабаритных деталей, работающих при больших нагрузках (картер двигателя внутреннего сгорания), для литья мало- и средненагруженных деталей приборов, агрегатов и двигателей, а также для бытовых изделий. Сплавы склонны к взаимодействию с газами и образованию газовой пористости. Герметичные крупногабаритные отливки получают в автоклавах при избыточном давлении или применяют комбинированное рафинирование (фильтрацию, вакуумирование).

Сплавы АЛ34, АЛ9-1, АЛ4-1 упрочняются за счет добавок Fe, Mg, Ti и Be. Сплав АЛ34 обладает хорошими литейными свойствами, его прочность превосходит прочность других силуминов. Полученные из этого сплава

11. Технологические свойства литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Температура плавления, °С	Температурный интервал кристаллизации, °С	Температура литья, °С	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть при 700 °С (пруткова проба), мм	Склонность к образованию горячих трещин (ширина кольца), мм	Герметичность	Склонность к газонасыщению	Обрабатываемость резанием	Свариваемость	Коррозионная стойкость	Рабочая температура, °С, не более
АЛ2	577	577	680—720	0,9	420	Трещина не образуется	Средняя	Высокая	Пониженная	Хорошая		200
АЛ4	550	601—569	690—760	1,0	360	То же	Высокая	То же	То же	»		
АК9 (АЛ4В)		600—577	690—760	1,0	355	»	То же	»	»	»		
АЛ9		620—577	690—750	1,0	350	»	»	»	Удовлетворительная	»		
АК7 (АЛ9В)		620—577	690—750	1,0	350	»	»	»	То же	»		
АЛ4-1		601—569	690—750	1,0	350	»	»	»	»	»		
АЛ9-1		620—577	690—750	1,0	350	»	»	»	»	»		
АЛ34 (ВАЛ5)		605—571	690—750	1,1	350	»	»	Повышенная	»	Хорошая		
АЛ3	535	627—577	710—750	1,1	344	7,5	Удовлетворительная	Средняя	Удовлетворительная			250
АЛ4М		601—569	700—740	1,1	380	5	Высокая		Удовлетворительная	Хорошая	Удовлетворительная	
АЛ5		622—577	700—750	1,1	345	10	Средняя		Удовлетворительная			
АЛ5-1		620—577	690—740	1	340	7,5	Хорошая	Средняя	—	Хорошая	Низкая	

Продолжение табл. 11

Марка сплава	Температура плавления, °С	Температурный интервал кристаллизации, °С	Температура литья, °С	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть при 700 °С (пруткова проба), мм	Склонность к образованию горячих трещин (ширина кольца), мм	Герметичность	Склонность к газонасыщению	Обрабатываемость резанием	Свариваемость резанием	Коррозионная стойкость	Рабочая температура, °С, не более
АЛ6		620—577	720—750	1,1	340	10	Средняя		Удовлетворительная			225
АК5М7 (АЛ10В)	535		690—730	1,2	320	15	»		Удовлетворительная		Пониженная	250
АЛ32	550	637—603	710—730	1,2	360	5	Высокая	Низкая	Удовлетворительная	Хорошая	То же	400
АЛ7	548	650—548	730—760	1,4	170	35	Низкая	Пониженная	Хорошая	Пониженная		225
АЛ33 (ВАЛ1)	550	640—560	700—730	1,25	240	30	Удовлетворительная	Средняя	То же	»		350
АЛ19	547,5	650—540	700—750	1,3	205	32	Низкая	Пониженная	Хорошая		Пониженная	300
АЛ8	449	610—450	670—710	1,3	300	22	»	Средняя	Хорошая	Удовлетворительная	Отличная	80
АЛ27	449	610—450	660—720	1,2	270	12,5	»	Пониженная	То же	То же	То же	80
АЛ27-1	449	610—450	660—720	1,2	270	12,5	»	То же	»	»	»	80
АЛ13	447	622—585	650—700	1,2	320	12	Средняя		»	»	Хорошая	200
АЛ22	447	568—445	650—730	1,2	340	10	»		»	»	То же	150
АЛ23	449	628—450	700—720	1,2	260	15	Низкая	Пониженная	»	»	Отличная	100

Марка сплава	Температура плавления, °С	Температурный интервал кристаллизации, °С	Температура литья, °С	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть при 700 °С (прутковая проба), мм	Склонность к образованию горячих трещин (ширина кольца), мм	Герметичность	Склонность к газонасыщению	Обрабатываемость резанием	Свариваемость	Коррозионная стойкость	Рабочая температура, °С, не более
АЛ23-1	449	628—450	700—750	1,2	260	15	Низкая	Пониженная	Хорошая	Удовлетворительная	Отличная	100
АЛ28	530	—	720—730	1,1	320	17	Удовлетворительная	Средняя	»	То же	Низкая	300
АЛ1	535	636—510	710—730	1,3	270	27,5	Низкая	Пониженная	»	Хорошая	Пониженная	300
АЛ11	560	585—551	700—730	1,1	350	Трещина не образуется	Средняя	Высокая	»	То же	Удовлетворительная	175
АЛ21	540	638—555	720—760	1,3	360	22,5	»	Пониженная	»	Удовлетворительная	Пониженная	350
АЛ24	500	630—563	730—760	1,35	250	25	Пониженная	То же	»	Хорошая	Хорошая	200
АЛ25	540	—	680—730	1,3	380	5	Высокая	»	Удовлетворительная	То же	Удовлетворительная	300
АЛ30	540	—	680—730	1,3	380	5	То же	»	То же	»	То же	250

Примечание. Жидкотекучесть определена при постоянной температуре в соответствии с ГОСТ 16438—70; линейная усадка — в соответствии с ГОСТ 16817—71.

отливки высокогерметичны. Сплав АЛ34 предназначен для литья сложных по конфигурации корпусных деталей, работающих под высоким давлением (до 45 МПа) и температуре не выше 200 °С.

Сплавы на основе системы Al—Si—Cu (АЛ3, АЛ4М, АК5М2, АЛ5, АЛ5-1, АЛ6, АК5М7, АК7М2, АК4М4, АЛ32) содержат кроме кремния и меди магний (за исключением тройного сплава АЛ6). Эти сплавы отличаются высокой жаропрочностью (рабочие температуры 250—275 °С), но уступают сплавам Al—Si и Al—Si—Mg по литейным свойствам, коррозионной стойкости и герметичности; не требуют модифицирования и кристаллизации под давлением (за исключением сплава АЛ4М).

Жаропрочность сплавов обеспечивается содержанием устойчивых тугоплавких фаз, которые кристаллизуются в тонкой разветвленной форме и хорошо блокируют границы зерен твердого раствора, что тормозит развитие диффузионных процессов.

Благодаря наличию Cu и Mn фазовый состав сплава АЛ3 в литом состоянии представляет собой α-твердый раствор + Si + Mn_2Si_2 + AlMnFe, а при медленном охлаждении может образовываться фаза W ($Al_xMg_5Si_4Cu_4$), обеспечивающая высокую жаропрочность. Термическая обработка в основном производится по трем режимам Т1, Т2 и Т5. Режим Т1 применяют для повышения твердости литых деталей, а режимы Т2 и Т5 — для деталей, работающих при высоких температурах.

Основное назначение сплава — литье в кокиль головок цилиндров двигателей воздушного охлаждения и деталей агрегатов и приборов.

Сплав АЛ4М относится к системе Al—Si—Cu—Mg с добавками титана (до 0,3 %) и бора (до 0,1 %). Фазовый состав сплава в литом состоянии: α-твердый раствор + Si + Mg_2Si + + $CuAl_2$ + Al_3Ti + W ($Al_xMg_5Cu_4Si_4$); отличается от сплава АЛ4 более высокой прочностью при комнатной температуре и повышенной жаропрочностью.

Сплав предназначен для литья в кокиль и песчаные формы крупных деталей, работающих как при повышенных температурах (до 250 °С), так и при комнатной температуре и давлении жидкости 30,0—50,0 МПа.

Недостатком сплава АЛ4М является необходимость в применении ступенчатого нагрева под закалку (режим Т5) ввиду наличия в структуре сплава нескольких эвтектик с различными температурами плавления.

Сплав АЛ5 и АЛ5-1 обладает более высокой жаропрочностью, чем сплавы АЛ9 и АЛ4, за счет легирования структуры медью, а сплава АЛ5-1 — титаном (до 0,15 %). В нем образуются упрочняющие фазы θ ($CuAl_2$) и W ($Al_xMg_5Cu_4Si_4$), улучшаются механические свойства. Сплав АЛ5 в термически обработанном состоянии применяют для литья средненагруженных корпусных деталей, работающих при повышенных температурах и давлениях до 23 МПа, а также при температурах до 250 °С (например, головки цилиндров двигателей воздушного охлаждения, детали агрегатов и т. д.).

Из сплава АЛ6 получают литые детали без термической обработки вследствие недостаточного легирования твердого раствора медью и грубой формы кристаллизации кремния. Применяют для литья малонагруженных агрегатных деталей и аппаратуры при рабочих температурах до 225 °С.

Сплав АК5М7, обладающий более гетерогенной структурой, чем сплавы АЛ3 и АЛ5, изготовляют из вторичных отходов. Химический состав сплава варьируется в широких пределах, поэтому его физико-химические свойства нестабильны. Применяют для литья поршней, термически обрабатываемых по режиму Т2. Литейные свойства и жаропрочность сплава АК5М7 значительно ниже, чем у поршневых сплавов АЛ25, АЛ30 и др.

Сплавы АК5М2, АК7М2 и АК4М4 легируют различными элементами; свойства близки к свойствам сплава АК5М7, применяют для малонагруженных деталей; термическая обработка по режиму Т5.

Сплав АЛ32 по свойствам аналогичен сплаву АЛ4, но имеет жаропрочность ниже, чем жаропрочность сплава АЛ4М; применяют при литье под давлением.

Сплавы на основе системы Al—Cu

(АЛ7, АЛ19 и АЛ33) характеризуются высокими механическими свойствами. Фазовый состав в литом состоянии: α-твердый раствор меди в алюминии + + $CuAl_2$. При наличии в сплаве примесей кремния и железа могут образовываться фазы Al_7Cu_2Fe, AlCuFeSi и тройная эвтектика α + Si + $AlCu_2$ с температурой плавления 525 °С. Увеличение содержания кремния в сплавах до 3 % приводит к увеличению количества эвтектики и улучшению литейных свойств, но к значительному снижению прочности. Наличие 0,05 % Mg сильно снижает свариваемость сплавов и их пластичность.

Сплав АЛ7 упрочняется по растворному типу, а также за счет дисперсных выделений фазы $CuAl_2$ и образований нерастворимых железосодержащих фаз, выделяющихся в виде ободков по границам дендритных ячеек. Сплав АЛ7 имеет широкий температурный интервал кристаллизации, повышенную усадку, склонен к образованию горячих трещин, поэтому не рекомендуется для литья в кокиль. Из сплава изготовляют средненагруженные детали несложной конфигурации (арматуру и кронштейны, работающие при температуре до 200—250 °С).

Сплав АЛ19 содержит медь, марганец и титан, которые измельчают структуру отливок и тем самым повышают механические свойства. В фазовом составе сплава образуются сложные интерметаллиды Ti ($Al_{12}Mn_2Cu$) и $TiAl_3$. Эти фазы совместно с $CuAl_2$ формируют твердый каркас по границам дендритных ячеек и придают сплаву повышенную жаропрочность. Коррозионная стойкость сплава АЛ19 более высокая, чем у сплава АЛ7.

Недостатками сплава АЛ19 являются: пониженные литейные свойства, коррозионная стойкость и герметичность и повышенная линейная усадка, обусловленная широким температурным интервалом кристаллизации сплава; предназначен для литья деталей, работающих в условиях повышенных статических и ударных нагрузок, а также для изготовления силовых деталей, работающих при нормальной и повышенной (до 300 °С) температурах.

Сплав АЛ33 отличается от других сплавов добавками Ni, Zr и Ce; структура его имеет сложный фазовый состав. Никелевая фаза (Al_6CuNi) образует твердый каркас, увеличивающий прочностность сплава при повышенных температурах. Сплав жаропрочен при 250—300 °С и по жаропрочности значительно превосходит сплавы систем Al—Si, Al—Mg. Сплав АЛ33 обладает удовлетворительными литейными свойствами: его применяют для тех же целей, что и сплав АЛ19.

Прочность сплавов на основе системы Al—Mg (АЛ8, АЛ8М, АЛ27, АЛ27-1, АЛ13, АЛ22, АЛ23, АЛ23-1, АЛ28) с увеличением концентрации магния до 13 % возрастает, но пластичность начинает снижаться при содержании более 11 % Mg; основной упрочняющей фазой является химическое соединение β (Al_3Mg_2).

Для литейных сплавов используют сплавы с содержанием Mg, % (мас. доля):

4,5—7 — сплавы средней прочности, применяемые без термической обработки (АЛ13, АЛ23);

9,5—13 — сплавы повышенной прочности, применяемые в закаленном состоянии (АЛ8, АЛ27, АЛ22).

Для улучшения технологических свойств в большинство сплавов вводят до 0,15—0,2 % титана и циркония. Образующиеся на их основе интерметаллиды $TiAl_3$ и $ZrAl_3$ более тугоплавкие, чем основа сплава, и являются модификаторами первого рода. Механические свойства повышаются на 20—30 %.

Сплавы системы Al—Mg обладают повышенной склонностью к взаимодействию с газами и к образованию газовой и газоусадочной пористости, а при взаимодействии с азотом и парами воды образуются неметаллические включения и оксидные плены. Плавку сплавов следует проводить под слоем флюса, а если в их состав входит Be, — без флюса.

Сплавы АЛ8 и АЛ27 применяют только в закаленном состоянии. Термическая обработка производится по режиму Т4: нагрев до 430 °С, выдержка 12—20 ч, охлаждение в масле с температурой 45 °С. При закалке фиксируется состояние пересыщенного твер-

дого раствора, повышается прочность и пластичность до 20 %, увеличивается также коррозионная стойкость.

Особенностью сплавов АЛ8, АЛ27, АЛ27-1 является повышенная чувствительность к естественному старению. Поэтому литые детали из этих сплавов можно применять для рабочих температур —60÷+80 °С.

Детали из сплавов АЛ8 и АЛ27 применяют в судостроении (в условиях высокой влажности), в летательных аппаратах, где важно значение удельной прочности.

Сплавы АЛ23, АЛ23-1 и АЛ28, не содержащие Si, применяют без термической обработки. Механические свойства этих сплавов невысоки, пластичность низкая из-за наличия в структуре неравновесных включений β-фазы. Их рекомендуется применять для литья в кокиль и песчаные формы средненагруженных деталей, работающих в коррозионных средах. Сплавы АЛ23 и АЛ23-1 применяются в литом состоянии без термической обработки и в закаленном состоянии.

Сплавы АЛ23 и АЛ23-1 в литом состоянии предназначены для изготовления деталей, несущих средние статические и небольшие ударные нагрузки, а в термически обработанном состоянии сплав АЛ23-1 применяют для изготовления деталей, работающих при средних статических и ударных нагрузках.

Сплав АЛ28 применяют в литом состоянии для изготовления арматуры трубопроводов пресной воды, масляных и топливных систем, а также для деталей судовых механизмов и оборудования.

Сплавы АЛ13 и АЛ22, содержащие 0,8—1,3 % Si, имеют более высокие литейные свойства, так как кремний увеличивает количество эвтектики, в результате чего: повышается жидкотекучесть и плотность отливок, снижается их склонность к образованию горячих трещин.

Рекомендуется применять эти сплавы для литья в кокиль, песчаные формы и, особенно, под давлением.

Из сплава АЛ13 изготовляют детали морских судов, а также детали, работающие при 180—200 °С (например, головки двигателей воздушного охлаждения).

К сплавам на основе системы Al и прочих компонентов (сложнолегированные сплавы) согласно ГОСТ 2687—75 относятся сплавы: жаропрочные многокомпонентные (АЛ1 и АЛ21) и самозакаливающийся коррозионно-стойкий (АЛ24), поршневые (АЛ25, АЛ30, АК21М2Н2,5), а также цинковый силумин (АЛ11).

Сплаву АЛ1 (система Al—Cu—Mg) присуща высокая жаропрочность в результате образования сложных металлидных фаз T (Al_9Cu_3Ni). Сплав имеет удовлетворительные литейные свойства и применяется для литья деталей двигателей, длительное время работающих при температурах до 300 °С (поршни, головки цилиндров и др.). Детали из сплава АЛ1 применяются в термически обработанном состоянии.

Сплав АЛ21 обладает более высокой жаропрочностью (выше на 30 %), чем сплав АЛ1, применяется для крупногабаритных деталей, работающих при температурах до 300—350 °С.

Сплав АЛ24 относится к системе Al—Zn—Mg, основной упрочняющей фазой является T ($Al_2Mg_3Zn_3$). Высокая устойчивость твердых растворов цинка и магния в алюминии обеспечивает «самозакалку» сплава в процессе охлаждения отливки. Сплав может применяться без специальной закалки, в литом и естественно или искусственно состаренном состоянии. Сплав обладает удовлетворительными свойствами, которые улучшаются добавкой титана (0,1—0,2 %).

Сплав АЛ24 рекомендуется применять для литья в песчаные формы, оболочковые формы по выплавляемым моделям, свариваемых деталей, а также для деталей с повышенными стабильностью размеров и коррозионной стойкостью.

Эвтектические специальные силумины (АЛ25, АЛ30), обладая хорошими литейными свойствами, отличаются более высокой жаропрочностью, так как содержат 0,8—1,3 % Ni, образующего сложные фазы в виде жесткого каркаса; добавка титана улучшает технологические свойства. Сплавы имеют малую склонность к объемным изменениям в процессе эксплу-

атации при повышенных температурах; применяются для изготовления поршней; в этом случае отливки используют без закалки. Для снятия внутренних напряжений поршни термически обрабатывают по режиму Т1.

Заэвтектический силумин АК21М2Н2,5 имеет хорошую жидкотекучесть, твердость и износостойкость. Структура сплава состоит из первичных кристаллов кремния и эвтектики. Добавки никеля и хрома обеспечивают высокую жаропрочность до 300—320 °С.

Применяют сплав для литья поршней и других ответственных деталей, работающих при повышенных температурах.

Цинковый силумин АЛ11, содержащий 7—12 % Zn, который хорошо растворим в твердом алюминии, создает растворное упрочнение, что позволяет использовать сплав в литом состоянии (без термической обработки).

Сплав АЛ11 обладает хорошими технологическими свойствами, способностью сохранять прочность, твердость и сопротивление действию знакопеременных нагрузок после кратковременных и длительных нагревов до температур 300—500 °С. Применяют сплав для литых деталей в моторостроении и других отраслях промышленности. Сплав АЛ11 используют при литье в песчано-глинистые формы, кокиль и под давлением. Имеет пониженную коррозионную стойкость и сравнительно высокую плотность.

2. Магниевые сплавы

По химическому составу в соответствии с ГОСТ 2856—79 литейные магниевые сплавы подразделяют на три группы (табл. 12):

на основе системы Mg—Al—Zn (МЛ3, МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5он, МЛ6);

на основе системы Mg—Zn—Zr (МЛ8, МЛ12, МЛ15);

на основе Mg—РЗМ—Zr (МЛ9,

12. Химический состав [% (мас. доля)] магниевых литейных сплавов (по ГОСТ 2856—79)

Марка сплава	Легирующие элементы (Mg—основа)					Сумма определяемых примесей
	Al	Mn	Zn	Zr	Другие элементы	
МЛ3	2,5—3,5	0,15—0,5	0,5—1,5	—	—	0,5
МЛ4	5,0—7,0	0,15—0,5	2,0—3,5	—	—	0,5
МЛ4пч	5,0—7,0	0,15—0,5	2,0—3,5	—	—	0,13
МЛ5	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	0,5
МЛ5пч	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	0,13
МЛ5он	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	0,7
МЛ6	9,0—10,2	0,1—0,5	0,6—1,2	—	—	0,5
МЛ8	—	—	5,5—6,6	0,7—1,1	Cd 0,2—0,8	0,2
МЛ9	—	—	—	0,4—1,0	In 0,2—0,8; Nd 1,9—2,6	0,35
МЛ10	—	—	0,1—0,7	0,4—1,0	Nd 2,2—2,8	0,2
МЛ11	—	—	0,2—0,7	0,4—1,0	РЗМ 2,5—4,0	0,2
МЛ12	—	—	4,0—5,0	0,6—1,1	—	0,2
МЛ15	—	—	4,0—5,0	0,7—1,1	La 0,6—1,2	0,2
МЛ19	—	—	0,1—0,6	0,4—1,0	Nd 1,6—2,3; V 1,4—2,2	0,25

Примечание. В марках сплавов буквы пч означают повышенная чистота; он — общего назначения.

13. Химический состав [% (мас. доля)] магниевых сплавов в чушках (по ГОСТ 2581—78)

Марка сплава	Легирующие элементы (Mg—основа)			Сумма определяемых примесей, не более
	Al	Zn	Mn	
ММ2	—	—	1,5—2,2	0,18
ММ2ч	—	—	1,7—2,4	0,02
МА3Ц	3,0—3,8	0,2—0,8	0,2—0,5	0,18
МА5Ц1	3,8—5,0	0,8—1,5	0,2—0,8	0,25
МА5Ц1ч	3,8—5,0	0,8—1,5	0,2—0,8	0,03
МА6Ц3	5,6—6,8	2,2—3,0	0,2—0,5	0,22
МА6Ц3ч	5,6—6,8	2,2—3,0	0,2—0,5	0,09
МА8Ц	7,8—8,7	0,3—0,8	0,2—0,5	0,18
МА8Цч	7,5—8,7	0,3—0,8	0,2—0,5	0,06
МА8ЦБч	7,5—8,7	0,3—0,8	0,2—0,5	0,06
МА10Ц1	9,0—10,0	0,7—1,2	0,2—0,5	0,26
МЦр1Н3	—	—	—	0,07

Примечание. В сплав МА8ЦБч в качестве легирующего элемента добавляют также 0,001—0,002 % (мас. доля) Be; в сплавы МА10Ц1 и МЦр1Н3—0,4—1,1 % (мас. доля) Zr и 2,6—3,2 % (мас. доля) Nd.

МЛ10, МЛ11, МЛ19).

Кроме того, находят ограниченное применение сплавы Mg—Mn (коррозионно-стойкие), Mg—Li (сверхлегкие) и Mg—Ti (жаропрочные).

Магниевые сплавы могут эксплуатироваться при температуре: нормальной до 200 °С (МЛ15); 250—300 °С (МЛ9, МЛ10, МЛ11) и криогенной.

Химические соединения Mg с элементами Al и Zn нежаропрочны и при 300 °С теряют 70—90 % исходной твердости из-за высокого содержания интерметаллидов в эвтектике и высокой хрупкости.

Элементы Zr, Nb, La, Ce, Ti могут быть в сплавах как основными, так и вспомогательными упрочнителями, существенно повышающими жаропрочность магниевых сплавов. Эти элементы образуют интерметаллидные фазы, обеспечивающие в литом состоянии каркасное упрочнение.

Марганец используется в основном как добавка, повышающая коррозионную стойкость с одновременным незначительным упрочнением.

Химический состав магниевых сплавов в чушках приведен в табл. 13; маркировка — в табл. 14.

Физические, механические и технологические свойства магниевых литейных сплавов приведены соответственно в табл. 15—17.

Особенности литейных магниевых сплавов и области их применения. Особенностью литейных магниевых сплавов является их легкая окисляемость (возгораемость), образование при температурах выше 700 °С нитрида магния (Mg_3N_2), интенсивное поглощение водорода, что приводит к образованию таких видов брака в отливках, как микропористость, образование трещин при затрудненной усадке, газовая и газоусадочная пористость, неметаллические включения. Эти особенности магниевых литейных сплавов необходимо учитывать при их плавке и производстве фасонных отливок.

Простота оборудования для производства этих сплавов дает возможность отливать фасонные детали в песчаные формы, кокиль, под давлением, по выплавляемым моделям и в гипсовые формы, т. е. получать отливки от мелких до крупногабаритных как в единичном, так и массовом производстве.

Характерная особенность магниевых сплавов — малая плотность при сравнительно высоких механических свойствах, что позволяет их использовать для уменьшения массы различных машин (например, отбойных молотов, деталей двигателей мотоциклов, автомобилей и т. д.).

Способность магниевых сплавов хорошо противостоять ударным нагрузкам позволяет использовать их для деталей колес автомобилей, орудий, самолетов, роликов грузовых кон-

14. Маркировка магниевых сплавов в чушках

Марка сплава	Чушки маркируются цветными полосами	Марка сплава	Чушки маркируются цветными полосами
ММ2	Красной	МА6Ц3ч	Тремя синими
ММ2ч	Двумя красными	МА8Ц	Зеленой
МА3Ц	Синей	МА8Цэ	Зеленой и желтой
МА5Ц1	Двумя коричневыми	МА8Цч	Двумя зелеными
МА5Ц1ч	Тремя коричневыми	МА8ЦБч	Двумя желтыми
МА6Ц3	Двумя синими	МАЮЦ1	Черной
МА6Ц3э	Двумя синими, одной желтой	МЦр1Н3	Коричневой

Примечание. Полосы наносят на торцы чушек.

вейеров.

Магниевые сплавы обладают способностью к поглощению энергии, благодаря низкому модулю упругости находят широкое применение в узлах и агрегатах машин, где требуется высокая способность к поглощению энергии.

В ряде случаев магниевые сплавы могут быть применены вместо алюминиевых сплавов, а также высококачественного чугуна и даже стали.

Недостаток магниевых сплавов — более низкая коррозионная стойкость по сравнению с алюминиевыми сплавами. Особенно усиленно развивается коррозия на поверхности деталей из магниевых сплавов, если в отливки попадают хлориды магния. Поэтому шихтовые материалы, пораженные коррозией, покрытые окислами и маслом, должны тщательно очищаться. Однако при обеспечении надлежащей технологии производства магниевых сплавов , а также защиты от коррозии детали могут длительное время работать в атмосферных условиях. Изделия из магниевых сплавов коррозионно-устойчивы в растворах фторатов, хроматов, минеральных масел, топлива, щелочах, жидком и газообразном кислороде.

Магниевые сплавы неустойчивы в морской воде, в среде органических и минеральных кислот, а также солях (за исключением фтористых).

Сплавы системы Mg—Al—Ti являются наиболее распространенными; содержание цинка в них значительно ниже предела растворимости (не превышает 3 %); добавка марганца (до 0,5 %) вводится для повышения коррозионной стойкости. Основным легирующим элементом является алюминий. Сплавы кристаллизуются в интервале температур (120—150 °С), склонны к образованию значительной усадочной пористости, горячих трещин и дендритной ликвации.

Из сплава МЛ3 изготовляют детали повышенной герметичности; этот сплав используют при изготовлении отливок простой конфигурации, работающих при средних статических и динамических нагрузках (корпуса насосов и др.). Сплаву присущи небольшой интервал кристаллизации и меньшая склонность к образованию микропористости в отличие от сплавов МЛ5 и МЛ6.

Сплав МЛ4 характеризуется высокой коррозионной стойкостью, но отливки из этого сплава предрасположены к микропористости и горячеломкости, поэтому сплав МЛ4 не рекомендуется для литья в кокиль и под давлением. Сплав применяют при литье деталей средней нагруженности, работающих при статических и динамических нагрузках, корпусных деталей приборов и кронштейнов после термической обработки.

Отливкам из сплава МЛ4пч и МЛ5пч присуща повышенная коррозионная стойкость (при высокой влажности в условиях тропического и морского климата и температуре, не превышающей 150 °С).

15. Физические свойства литейных магниевых сплавов

Свойство магниевого сплава	МЛ3	МЛ4	МЛ4пч	МЛ5	МЛ5пч	МЛ5он	МЛ6
Плотность при 20 °С, кг/м³	1780	1838		1810	1820	1800	1820; 1830; 1800 *1
Температура, °С:							
ликвидуса	628	610		607		600	
солидуса	561	400		430	492	492	400
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) в интервале температур, °С:							
20—100	26,0	26,4		26,8	26,8	26,8	26,1
20—200	27,0	27,6		27,1	28,1	28,1	27,3
20—300	—	28,3		28,7	28,7	28,7	27,7
Теплоемкость [кДж/(кг·°С)] твердого сплава при 20—100 °С				1,04			
Теплопроводность при 100—300 °С, Вт/(м·°С)	104,67	75,36		77,45		**71,17**	
Относительная электропроводность (%) по отношению к меди при 25 °С	18,5	15,0; 12,3; 13,8 *2	15; 12,3; 13,8 *2	12,5; 11,5; 13,0 *2	12,5; 11,5; 13,0 *2	12,5; 11,5; 13,0 *2	12,3; 10,7 12,3 *2
Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м	0,93	1,15; 1,4; 1,75 *2	—	1,37; 1,5; 13,3 *2		1,5	1,4; 1,7; 1,4 *2
Нормальный потенциал по отношению к каломелевому электроду, В	—1,59	—1,57		—1,58		—1,56	
Перенапряжение водорода, В	—	0,34		0,33		**0,30**	

*1 При литье соответственно в песчаную форму, кокиль, под давлением.
*2 При термической обработке соответственно по режимам Т4 и Т6.

Свойство магниевого сплава	МЛ8	МЛ9	МЛ10	МЛ11	МЛ12	МЛ15	МЛ19
Плотность при 20 °С, кг/м³	1760		1780		1810	1830	1780
Температура, °С:							
ликвидуса	610	640		648	630	631	640
солидуса	505	550		593	550	539	550
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при температуре, °С:							
20—100	23,04	23,4	27,7	21,9	26,2	25,9	27,7
20—200	24,0	27,1	28,0	22,7	29,5	26,9	28,7
20—300	26,8	28,9	28,3	24,8	21,15	27,9	28,3
20—400	27,5	30,0	28,6	—	—	31,1	28,6
Теплоемкость [кДж/(кг·°С)] твердого сплава при 20—100 °С	1,04	1,17	1,08	1,17	1,04	0,92	—
Теплопроводность [Вт/(м·°С)] при 100—300 °С	75,36	104,67	113,04	117,23	133,98	104,67	—
Относительная электропроводность (%) по отношению к меди при 25 °С	18,5	—	21,6	25	25,7	24,7	21,6
Электросопротивление при 20 °С, мкОм·м	0,9	0,726	0,844	0,67	0,67	0,71	0,82

16. Механические свойства литейных магниевых сплавов

Марка сплава	Способ литья	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ при $l = 5d$, %, не менее
			МПа, не менее		
МЛ3	П	—	157,0	—	6
МЛ4	П, О	—	157,0	—	3
		Т4	216,0	—	5
		Т6	226,0	—	2
		Т4	216,0	—	5
МЛ4пч		Т6	226,0	—	2
МЛ5	П, О, К	—	147,0	—	2
		Т2	147,0	—	2
		Т4	226,0	83,3	5
		Т6	226,0	—	2
	Д	—	171,5	108,0	1
МЛ5пч	П, О, В, Г	—	147,0	—	—
		Т2	147,0	—	2
		Т4	226,0	83,3	5
		Т6	226,0	—	2
МЛ5он	П, О, К	—	147,0	—	2
		Т4	216,0	—	5
		Т6	226,0	—	2
МЛ6	П, К	—	147,0	—	1
		Т4	216,0	108	4
		Т6	216,0	137	1
		Т61	226,0	137	1
МЛ8	П, О, К, В, Г	Т6	264,0	166	4
		Т61	275,0	176	4
МЛ9	П, О, К, В, Г	Т6	226,0	108	4
МЛ10	П, О, К, В, Г	Т6	226,0	137	3
		Т61	235,0	137	3
МЛ11	П, О, К, В, Г	—	117,5	—	1,5
		Т2	117,5	—	1,5
		Т4	137,0	88,3	3,0
		Т6	137,0	98	2,0

Продолжение табл. 16

Марка сплава	Способ литья	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ при $l = 5d$, %, не менее
			МПа, не менее		
МЛ12	П, О, К, В, Г	—	196,0	88,2	6
		Т1	226,0	127,5	5
МЛ15	П, О, К, В, Г	Т1	206,0	127,5	3
МЛ19	П, К	Т6	216,0	118,0	3

Сплав МЛ6 можно применять для литья в песчаные формы, кокиль и под давлением при производстве высоконагруженных отливок с повышенным пределом текучести и нагруженных отливок, работающих в тяжелых атмосферных условиях (высокой влажности). Сплав МЛ6 обладает хорошими литейными свойствами, но в литом состоянии не используется из-за высокой хрупкости.

Сплавы на основе системы Mg—Zn—Zr — (Me) по сравнению с предыдущей группой более прочны и достаточно пластичны. Измельчение структуры при введении циркония обусловливает меньшую чувствительность этих сплавов к толщине сечения отливки, выравнивает их механические свойства. Добавка лантана (МЛ15) повышает жаропрочность сплава.

Сплав МЛ8 более легирован и имеет повышенные прочностные свойства при хорошей пластичности. Предназначен для отливок средненагруженных деталей, работающих длительно при температуре до 150 °С.

Сплав МЛ12 предназначен для отливки деталей, длительно работающих при температурах до 200 °С и кратковременно — до 250 °С. Сплав обладает удовлетворительными литейными свойствами и более высокой, чем у МЛ5, коррозионной стойкостью.

Сплав МЛ15 рекомендуется применять для литья высоконагруженных герметичных деталей, длительно работающих при температуре 250 °С. Добавка лантана образует самостоятельную фазу La_2Mg_{17}, которая повышает прочность и улучшает технологические свойства.

Сплавы на основе системы Mg—РЗМ—Zr содержат в твердом растворе небольшие добавки цинка и циркония, основными легирующими элементами являются РЗМ. Сплавы с неодимом упрочняются как по растворному типу, так и интерметаллидной фазой Mg_2Nd, что способствует сокращению механических свойств при повышенной температуре. Сплавы с неодимом имеют хорошие технологические и литейные свойства, дают плотные отливки с однородными свойствами в тонких и толстых сечениях.

Сплавы с РЗМ (МЛ11) легируют мишметаллом (75 % Се, остальное — РЗМ), что приводит к образованию интерметаллида $Mg_{12}Ce$. В процессе термической обработки сплав упрочняется дисперсными частицами интерметаллидов, равномерно распределенных в твердом растворе.

Сплав МЛ9 рекомендуется применять как для литья в песчаные формы, так и для литья в кокиль высоконагруженных деталей, работающих при 250 °С и требующих высокой герметичности.

Сплав МЛ10 отличается высокой герметичностью и предназначен для изготовления высоконагруженных отливок, работающих при температурах 250—300 °С, хорошо обрабатывается резанием, сваривается.

Сплав МЛ11 наиболее жаропрочен среди магниевых сплавов и предназначен для деталей, длительное время эксплуатируемых при 250—350 °С и кратковременно — до 400 °С. Сплав обладает хорошими технологическими свойствами; отливки из этого сплава

17. Технологические свойства

Свойство	МЛ3	МЛ4	МЛ4пч	МЛ5	МЛ5пч	МЛ5он
Температура литья	690—800	700—800			690—800	
Жидкотекучесть на длине прутка, мм	215	245			290	
Горячеломкость по ширине кольца, мм	42,5	37,5		36,5	30	
Линейная усадка, %	1,2—1,6	1,2—1,4	1,3	1,2—1,3	1,35	1,3
Объемная усадка (%) в интервале температур:						
от 800 °С до температуры солидуса	4,13	5,87			5,45	
от температуры солидуса до температуры ликвидуса	5,0	3,39			3,77	
Склонность к образованию микропористости в условных единицах	Малая	Высокая			Средняя	
Минимальная толщина стенки при литье, мм	5,6	4				3
Предельные рабочие температуры, °С				150		
Литейные свойства		Низкие		Высокие		Хоро
Коррозионная стойкость		Высокая				Удовле
Свариваемость		Хорошая				Удовлетворите
Горячеломкость в условных единицах	—	37	—	30	27	—
Интервал кристаллизации (t_L — t_S^*), °С	67	155	115		157	

* Значения интервала кристаллизации приведены для равновесных условий ох

имеют повышенную герметичность.

Сплав МЛ19 предназначен для производства высоконагруженных отливок, работающих при 250—300 °С. Применение при 200—250 °С нецелесообразно, так как сплав при этих температурах не имеет преимущества перед сплавами с редкоземельными металлами.

Сплавы МЛ5 и МЛ5он рекомендуется применять для литья под давлением, в песчаные формы и кокиль, так как они обладают хорошей жидкотекучестью и малой склонностью к образованию рыхлот и трещин. Из сплавов отливают высоконагруженные детали двигателей и агрегатов, работающие при статических и динамических нагрузках, корпусные детали приборов, кронштейны и другие детали, работающие при температуре до 150 °С.

Сплавы с торием находят ограниченное применение в связи с его радиоактивностью.

магниевых литейных сплавов

МЛ6	МЛ8	МЛ9	МЛ10	МЛ11	МЛ12	МЛ15	МЛ19
700—800		750—800	729—800	730—760	750—820	750—800	730—780
335		250		290		320	300
25—30		25	15—20	20	31	29	25
1,1—1,2	1,1—1,3	1,2—1,4	1,2—1,5	1,2—1,5	1,3—1,4	1,3—1,4	1,3—1,5
4,71	—	—	3,6	—	—	—	—
3,6	—	—	4,5	—	—	—	—
	Малая	Не склонен	Почти не склонен	Не склонен	Средняя	Малая	Почти не склонен
	4	4—6			4		
		250		350	300	150	300
шие	Удовлетворительные	Хорошие	Высокие		Хорошие		Высокие
творительная			Хорошая	Удовлетворительная	Высокая	Удовлетворительная	
льная		Хорошая		Удовлетворительная			
27	—	32	30	—	32	30	—
120	—	95	95	—	75	75	—

лаждения.

3. Тугоплавкие сплавы

К тугоплавким относятся сплавы на основе следующих металлов — титана, ванадия, хрома, циркония, ниобия и вольфрама, температуры плавления которых выше температуры плавления железа.

Тугоплавкие сплавы находят широкое применение в промышленности благодаря специфическим свойствам, а особенно благодаря коррозионной стойкости во многих средах, высокой прочности при повышенных температурах, где не применимы сплавы на основе железа, никеля, кобальта. Ракетная, космическая, авиационная и автомобильная техника, атомная энергетика, радиоэлектроника, приборостроение, химическое машиностроение — далеко не полный перечень областей применения тугоплавких литейных сплавов.

Титановые сплавы. Литейные тита-

новые сплавы обладают малой плотностью, высокой прочностью и стойкостью против химического взаимодействия с влагой, морской водой, органическими и минеральными кислотами.

Основной трудностью производства фасонного литья из титановых сплавов является высокая химическая активность расплавленного титана, реагирующего со всеми техническими огнеупорами типа тугоплавких оксидов, в том числе и TiO_2, который восстанавливается, а высвободившийся кислород переходит в сплав.

Литейные титановые сплавы по структуре делятся на однофазные α-сплавы (ВТ1Л, ВТ5Л) и двухфазные α + β-сплавы (ВТ3-1Л, ВТ6Л, ВТ14Л и ВТ20Л).

Основой однофазных сплавов является система Ti—Al, двухфазных — система Ti—Al—Mo—(Cr, V, Zr, Sr).

Химический состав литейных титановых сплавов, их физические, механические и технологические свойства приведены в табл. 18—21.

Сплав ВТ5Л наиболее широко используют для фасонных отливок, применяют обычно без термической обработки, в основном для коррозионностойкой арматуры химических производств. Сплав ВТ1Л имеет аналогичное применение.

Сплавы ВТ3-1Л, ВТ9Л и ВТ14Л — двухфазные, обладают повышенной жаропрочностью и находят широкое применение для литья деталей авиационных двигателей. Сплав ВТ3-1Л применяют при 400—450 °С, сплав ВТ9Л — при 500—560 °С.

Сплавы ВТ20Л и ВТ21Л находят применение в транспортном машиностроении, авиационной промышленности. Сплав ВТ21Л из-за широкого интервала кристаллизации склонен к образованию усадочной рыхлоты, что определяет его применение в основном для деталей простой конфигурации. Сплав ВТ20Л применяют при 500—560 °С.

Из сплавов ВТ5Л, ВТ6Л и ВТ21Л изготовляют детали, длительно работающие при температурах до 400 °С.

Сплавы вольфрама. В литейном производстве находит применение сплав

18. Химический состав [% (мас. доля)] титановых литейных сплавов [66, 85]

Марка сплава	Легирующие элементы (Ti — основа)				Примеси, не более							
	Al	Mo	V	Другие элементы	C	O_2	N_2	H_2	Fe	Si	Zr	W
ВТ1Л	—	—	—	—	0,07	0,2	0,04	0,01	0,3	0,1	—	—
ВТ5Л	4,1—6,2	—	—	—	0,20	0,20	0,05	0,015	0,35	0,20	0,8	0,20
ВТ6Л	5,0—6,5	—	3,5—4,5	—	0,10	0,15	0,05	0,015	0,30	0,15	0,3	0,20
ВТ3-1Л	5,3—7,0	2,0—3,0	—	Cr 0,8—2,3; Si 0,15—0,40; Fe 0,2—0,7	0,15	0,18	0,05	0,015	—	—	0,50	0,20
ВТ9Л	5,6—7,0	2,8—3,8	—	Zr 0,8—2,0; Si 0,2—0,35	0,15	0,15	0,05	0,015	0,30	—	—	0,20
ВТ14Л	4,3—6,3	2,5—3,8	0,9—1,9	—	0,12	0,15	0,05	0,015	0,60	0,15	0,30	0,20
ВТ20Л	5,5—7,5	0,5—2,0	0,8—1,8	Zr 1,5—2,5	0,15	0,15	0,05	0,015	0,30	0,15	—	—

Примечание. Сумма прочих примесей — не более 0 30 %.

19. Физические свойства титановых литейных сплавов

Свойство	ВТ5Л	ВТ6Л	ВТ3-1Л
Температура, °С:			
ликвидуса	1640	1650	1620
солидуса	1600	1590	1560
Плотность при 20 °С, кг/м³	4410	4430	4430
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	8,6 (20—100) 9,2 (20—500) 9,8 (20—900)	8,3 (20—100) 9,5 (20—500) 10 0 (20—700)	9,5 (20—100) 10,3 (20—500)
Теплоемкость, кДж/(кг·°С)	0,544 (100) 0,670 (400) 0,754 (600)	0,543 (100) 0,668 (400) 0,794 (700)	0,565 (100) 0,691 (400) 0,795 (600)
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	8,79 (25) 13,0 (400) 15,5 (600)	8,8 (25) 13,4 (400) 17,6 (700)	6,69 (25) 12,1 (400) 15,1 (600)
Удельное электрическое сопротивление $\rho_{20} \cdot 10^6$, Ом·см	—	162	168,5

Свойство	ВТ9Л	ВТ14Л	ВТ21Л	ВТ1Л
Температура, °С:				
ликвидуса	1620	1650	1630	1670
солидуса	1560	1590	1550	1655
Плотность при 20 °С, кг/м³	4490	4500	4470	4500
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	7,61 (20—100) 9,57 (20—500) 10,5 (20—800)	7,82 (20—100) 8,73 (20—500) 8,84 (20—700)	8,5 (20—100) 9,5 (20—500) 10,5 (20—900)	8,2 (20—100)
Теплоемкость, кДж/(кг·°С)	—	0,501 (100) 0,623 (400) 0,993 (800)	0,515 (100) 0,675 (400) 0,900 (800)	0,525 (20)
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	—	9,1 (100) 13,1 (400) 18,2 (800)	7,9 (100) 12,1 (400) 18,4 (800)	13,4 (20)
Удельное электрическое сопротивление $\rho_{20} \cdot 10^6$, Ом·см	169	161	170	106

Примечание. В скобках указаны температуры (°С), при которых определялись свойства титановых сплавов.

20. Механические свойства титановых литейных сплавов

Марка сплава	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	$a_н$, Дж/см²
	МПа		%		
ВТ1Л	343	294	10	20	39,2
ВТ5Л	686	618	6	14	29,4
ВТ6Л	834	736	5	10	24,5
ВТ3-1Л	932	814	4	8	24,5
ВТ9Л	932	814	4	8	19,6
ВТ14Л	883	785	5	12	24,5
ВТ20Л	932	834	8	20	24,5
ВТ22Л	981	843	4	8	19,6

21. Технологические свойства титановых литейных сплавов

Марка сплава	Жидкотекучесть, мм	Кинематическая вязкость титана, м²/с	Усадка, %	
			линейная	объемная
ВТ1Л	520	2,01 (1690)	0,9—1,1	2,7—3,1
ВТ5Л	560	0,60 (1760)	1,0—1,2	3,0—3,2
ВТ9Л	505	0,44 (1817)	0,85—1,05	2,6—3,0
ВТ21Л	460	0,23 (1950) 0,15 (2110)	0,8—1,0	2,4—2,8

Примечание. В скобках приведена температура в градусах Цельсия, при которой титан имеет такую вязкость.

W + (15÷30) % (мас. доля) Mo. Добавка молибдена к вольфраму в количестве 15—30 % (мас. доля) улучшает технологические свойства сплавов, улучшает их выплавляемость и обрабатываемость. Из них получают фасонные отливки центробежным способом в графитовые изложницы.

Сплавы на основе молибдена. Для изготовления отливок методом жидкой штамповки рекомендуется применять сплавы: ВМ-2 и ВМ-3п, содержащие, % (мас. доля): Zr 0,1—0,4; Ti до 0,4 и C до 0,02.

Сплавы на основе хрома обладают рядом специфических физико-химических свойств — жаростойкостью, коррозионной стойкостью в ряде агрессивных жидкостей и газов, малой плотностью. Находят широкое применение как конструкционные материалы в различных областях машиностроения.

Химический состав, физические и механические свойства литейных сплавов на основе хрома приведены в табл. 22—24.

Сплавы типа ВХ-5 пластичны при температурах выше 800—1000 °С и статически приложенных нагрузках. Детали изготавливают методами точного литья. Особенности сплавов — высокие прочность при 1000—1300 °С,

22. Химический состав [% (мас. доля)] литейных сплавов на основе хрома [88]

Марка сплава	Легирующие компоненты (Cr — основа)							
	Mo	W	Ni или Ta	B	Ce	Ni	V	Ti
ВХ-5	10—15	3,0	2—10	До 0,1	До 0,02	—	—	—
ВХ-4	—	1,5	—	—	—	32	0,1—0,4	0,05—0,25

Примечания: 1. В сплаве ВХ-4 допускается содержание, % (мас. доля): C до 0,08; O_2 до 0,03; N_2 до 0,04.

2. Вольфрам может быть полностью или частично заменен молибденом.

23. Физические свойства литейных сплавов на основе хрома

Свойство	ВХ-5	ВХ-4
Температура плавления, °С	1900—1750	1850
Плотность, кг/м³	7900—8300	7900
Линейная усадка при кристаллизации, %	2	1,6
Коэффициент линейного расширения $\alpha \times 10^6$ (1/° С) при температуре, °С:		
20—100	8,1	9,8
20—500	9,7	11,5
20—1000	10,5	13,7
100—200	8,7	10,5
400—500	10,3	13,3
900—1000	12,8	19,1
200—800	—	12,7
Коэффициент теплопроводности [Вт/(м·°С)] при температуре, °С:		
100	87,9	23,9
500	71,2	32,24
900—1000	54,4	36,8
Теплоемкость [кДж/(кг·°С)] при температуре, °С:		
100	0,409	—
500	0,50	—
100	0,66	—
1200	0,79	—
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	—	0,41

жаростойкость и коррозионная стойкость в ряде агрессивных сред.

Сплавы типа ВХ-4 обладают высокой стойкостью к термическим напряжениям при циклической работе в интервале температур 0—1300 °С. ВХ-4 применяют для фасонных отливок, работающих в газообразных и жидких средах.

Сплавы ВХ-5 и ВХ-4 предназначены для изготовления деталей, работающих в контакте с продуктами горения сернистого топлива (детали котлов и высокотемпературных нагревательных печей).

4. Медные сплавы

Медные сплавы подразделяют на бронзы и латуни.

Изготовляют бронзы оловянные (*сплавы меди с оловом*) и безоловянные (сплавы меди с алюминием, железом, марганцем, никелем и др.).

Латуни представляют собой сплавы меди с цинком, в которых могут содержаться также и другие элементы (кремний, алюминий, железо, марганец, свинец).

Основное преимущество медных сплавов состоит в том, что они обладают высокой коррозионной стойкостью, тепло- и электропроводностью, хорошим сопротивлением износу, низким коэффициентом трения, хорошей притираемостью в паре с другими более твердыми металлами, хорошо *работают при отрицательных температурах* до —250 °С.

Недостаток медных сплавов — высокая плотность и низкие свойства при повышенных температурах [15].

Оловянные бронзы. Основой литейных оловянных бронз являются системы Cu—Sn и Cu—Sn—Zn—(Pb). *Широкое применение нашли в промышленности* оловянные бронзы, содержащие олова не более 10—12 и редко — 18—20 %. Для этих бронз характерны широкий температурный интервал кристаллизации и значительная растворимость олова в твердом состоянии. Структура бронз, содержащих до 8 % Sn, *представляет собой* α-твердый раствор дендритного строения с неравномерным распределением компонентов вследствие дендритной ликвации. Структура сплавов с концентрацией Sn более 8 % состоит из α-фазы и эвтектоида $\alpha + \sigma$ (Cu_3Sn_8). Твердая интерметаллидная фаза Cu_3Sn_8 вызывает увеличение прочности и твердости; максимальных значений эти величины достигают при 20—25 % Sn. Прочность бронз увеличивается с возрастанием содержания упрочняющих элементов.

В зависимости от процентного со-

24. Механические свойства литейных сплавов на основе хрома

Марка сплава	Температура определения параметра, °С	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	НВ	δ, %	$a_н$, Дж/см²	$E \cdot 10^{-3}$, МПа
ВХ-4	20	1100	850	230	8	20	244
	500	880	670		10	60	212
	800	530	290		12	100	185
	1000	240	90		12	150	146
	1150	50	13		12	150	—
ВХ-5	20	—	—	250	—	—	—
	1150	200—260	120		2—4	—	—
	1300	60	20—22		6	—	—
	1500	30—35	8—10		12	—	—

держания олова оловянные бронзы подразделяют на бронзы:

общего назначения (содержание олова до 6—10 %);

высокопрочные (содержание олова до 16—19 %).

В зависимости от содержания легирующих компонентов различают оловянные бронзы:

оловянные и оловянно-цинковые (БрО8Ц8, БрО10Ц2, БрО10Ф1);

оловянно-цинково-свинцовые (БрО4Ц4С17, БрО5Ц5С5, БрО3Ц12С5, БрО6Ц6С3, БрО4Ц7С5, БрО3Ц7С5Н1);

свинцовые и оловянно-свинцовые (БрО5С25, БрО10С10).

Химический состав оловянных литейных бронз (табл. 25) должен соот-

25. Химический состав [% (мас. доля)] оловянных литейных бронз (по ГОСТ 613—79)

Марка сплава	Легирующие элементы (Cu — основа)			Сумма определенных примесей
	Sn	Zn	Pb	
БрО3Ц12С5	2—3,5	8—15	3—6	1,3
БрО3Ц7С5Н1	2,5—4	6—9,5	3—6	1,3
БрО4Ц7С5	3—5	6—9	4—7	1,3
БрО4Ц4С17	3,5—5,5	2—6	14—20	1,3
БрО5Ц5С5	4—6	4—6	4—6	1,3
БрО5С25	4—6	—	23—26	1,2
БрО6Ц6С3	5—7	5—7	2—4	1,3
БрО8Ц4	7—9	4—6	—	1,0
БрО10Ф1	9—11	—	—	1,0
БрО10Ц2	9—11	1—3	—	1,0
БрО10С10	9—11	—	8—11	0,9

Примечания: 1. В бронзах БрО3Ц7С5Н1, БрО3Ц12С5, БрО8Ц4 и БрО10Ц2 сумма примесей Si и Al не должна превышать 0,02 % (мас. доля).

2. В бронзе БрО10Ф1 содержится 0,4—1,1 % (мас. доля) P; в бронзе БрО3Ц7С5Н1 — 0,5—2 % (мас. доля) Ni.

26. Химический состав [% (мас. доля)] оловянных бронз в чушках (по ГОСТ 614—73)

Марка бронзы	Легирующие элементы (Cu—основа)				Примеси, не более		
	Sn	Zn	Pb	Ni	Al	Si	Ni
БрО5Ц6С5	4,1—6,0	4,5—6,5	4,0—6,0	—	0,05	0,05	1,0
БрО3Ц13С4	2,1—3,5	9,0—16,0	3,0—6,0	—	0,02	0,02	2,0
БрО3Ц8С4Н1	2,6—4,0	7,0—10,0	3,0—6,0	0,5—2,0	0,02	0,02	—
БрО4Ц7С5	3,1—5,5	6,5—9,0	4,0—7,0	—	0,05	0,05	2,0

Примечание. В бронзах всех марок содержатся также примеси, % (мас. доля), не более: Sb 05; Fe 0,4; P 01; As 0,15; Mg 0,02; S 0,08; общая сумма определяемых примесей 1,3 % (мас. доля).

ветствовать ГОСТ 613—79, который содержит бронзы с содержанием олова не более 10 %, что связано с необходимостью экономного легирования. Нижний предел легирования (2—3 % Sn) определяется необходимостью получения минимального растворного упрочнения.

Чисто оловянные бронзы, как правило, не применяют, их легируют компонентами, улучшающими механические, технологические и эксплуатационные свойства.

Цинк является одним из основных легирующих компонентов оловянных бронз. Он входит в твердый раствор и несколько повышает прочность и пластичность сплавов, а также улучшает равномерность распределения свинца, способствует возрастанию коррозионной стойкости бронзы в морской воде. Цинк позволяет экономить более дефицитное и дорогое олово, снижает интервал кристаллизации, что способствует повышению жидкотекучести, плотности и уменьшению склонности отливок к обратной ликвации.

Свинец образует в структуре медных сплавов мягкую металлическую фазу. При этом прочность и твердость сплава снижаются, но улучшаются антифрикционные свойства. Оптимальные концентрации свинца повышают жидкотекучесть сплавов, их плотность и герметичность.

Фосфор является интенсивным раскислителем медных сплавов и упрочнителем как по растворному типу, так и вследствие образования химических соединений. Фосфор снижает температуру плавления и улучшает практическую жидкотекучесть.

Никель измельчает макрозерно, повышает пластичность и прочность, уменьшает ликвацию в оловянно-свинцовых бронзах.

Из оловянных бронз в чушках (табл. 26) изготовляют оловянные литейные бронзы по ГОСТ 613—79. Химический состав оловянных бронз в чушках должен соответствовать ГОСТ 614—73.

27. Марки оловянных бронз, получаемых из бронз в чушках, и маркировка оловянных бронз в чушках

Марка оловянной бронзы		Чушки маркируются цветной полосой
в чушках	получаемой из чушек	
БрО5Ц6С5	БрО5Ц5С5 и БрО4Ц4С17	Черной
БрО3Ц13С4	БрО3Ц12С5	Зеленой
БрО3Ц8С4Н1	БрО3Ц7С5Н1	Синей
БрО4Ц7С5	БрО4Ц7С5	Красной

Чушки должны иметь один или несколько пережимов, масса чушек не превышает 42 кг. Назначение оловянных бронз в чушках и их маркировка приведены в табл. 27.

Прочность и твердость бронз увеличивается с возрастанием содержания упрочняющих легирующих элементов, причем олово является более сильным упрочнителем, чем цинк. В бронзах, не содержащих эвтектоид, относительное удлинение составляет 6—10 %, а появление эвтектоида снижает относительное удлинение до 1—3 %.

Оловянные литейные бронзы из-за большого интервала кристаллизации обладают умеренной жидкотекучестью. Минимальная жидкотекучесть соответствует концентрации олова 10—12 %. В оловянных бронзах образуется значительная усадочная пористость и очень небольшая усадочная раковина, что обусловливает малую линейную усадку (~0,8 %) при литье в песчаные формы, обеспечивает четкое воспроизведение рельефа формы в сложных отливках при художественном литье, а также в отливках с резкими переходами от толстых сечений к тонким. Отливки в кокиль более плотны, линейная усадка увеличивается до 1,4 %. В большинстве случаев горячеломкость отливок невелика и вызывается главным образом наружной коркой.

Физические, механические и технологические свойства оловянных бронз приведены в табл. 28—30.

Для получения литых деталей применяют в основном стандартные литейные оловянные бронзы в чушках, а для изделий ответственного назначения — высокооловянные бронзы, выплавляемые из первичных (чистых) металлов. Отливки из оловянных бронз в чушках дешевле, но их механические свойства несколько ниже, чем механические свойства отливок, выплавленных из первичных металлов.

Из литейных оловянных бронз получают главным образом литые детали, работающие под давлением или в условиях трения (табл. 31).

Безоловянные бронзы. Литейные безоловянные бронзы подразделяют на четыре группы: алюминиевые, марганцевые, свинцовые и сурьмянистые (ГОСТ 493—79). Химический состав безоловянных литейных бронз приведен в табл. 32.

Наибольшее распространение в литейном производстве получили алюминиевые бронзы. Они имеют хорошую коррозионную стойкость в пресной и морской воде, хорошо противостоят разрушению в условиях кавитации, обладают меньшим, чем оловянные бронзы, антифрикционным износом.

Сплавы Cu—Al кристаллизуются в узком температурном интервале (46 °С), что приводит к последовательному затвердеванию и образованию в отливках столбчатой структуры, в результате чего ухудшается пластичность. В связи с этим все алюминиевые бронзы содержат добавки 1—4 % (мас. доля) Fe.

Железо вводят в сплав для измельчения зерна и упрочнения твердого раствора, замедления эвтектоидного распада β-фазы, предотвращающей тем самым явление самопроизвольного отжига при литье крупногабаритных фасонных отливок в песчаные формы.

Марганец хорошо растворяется в алюминиевой бронзе, повышает ее коррозионную стойкость, повышает прочность и пластичность.

Никель в алюминиевых бронзах образует фазы Ni_3Al и NiAl с переменной растворимостью в твердом состоянии, смещает однофазную область при понижении температуры в сторону медного угла, что позволяет алюминиевые бронзы упрочнять термической обработкой.

Цинк несколько снижает технологические свойства сплава и поэтому в алюминиевых бронзах применяется редко.

Для неответственных отливок широко применяют безоловянные литейные бронзы в чушках (табл. 33). Чушки используют также для изготовления бронз по ГОСТ 493—79.

Безоловянные бронзы имеют высокие механические, антикоррозионные и антифрикционные свойства, а также обладают рядом специальных свойств — высокими электропроводностью, теплопроводностью и паростойкостью.

28. Физические свойства литейных оловянных бронз

Свойство	БрО3Ц12С5	БрО3Ц7С5Н1	БрО4Ц7С5	БрО4Ц4С17	БрО5Ц5С5
Температура, °С: ликвидуса	980	1030	980	960	975
солидуса	—	—	—	—	—
Плотность, кг/м³	8600	8800	8900	9200	8800
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при 20 °С	—	17,1	—	—	17,7
Теплоемкость, кДж/(кг·°С)	—	—	0,38	—	0,38
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	—	—	58,64	60,7	93,79
Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м	—	0,085	—	—	0,11

Свойство	БрО5С25	БрО6Ц6С3	БрО8Ц4	БрО10Ф1	БрО10Ц2	БрО10С10
Температура, °С: ликвидуса	940	967	1015	934	1000	930
солидуса	899	—	854	—	—	—
Плотность, кг/м³	9400	8820	8800	8600	8700	9000
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при 20 °С	17,6	17,1	16,6	17	18,3	—
Теплоемкость, кДж/(кг·°С)	—	—	0,36	0,40	0,37	—
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	75,36	75,36	68,24	48,98	55,26	—
Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м	—	0,09	0,135	0,16	0,155	—

29. Механические свойства литейных оловянных бронз

Марка оловянной бронзы	$\sigma_в$, МПа	δ_5, %	НВ	Марка оловянной бронзы	$\sigma_в$, МПа	δ_5, %	НВ
	не более				не более		
БрО3Ц12С5	206 / 176,2	5 / 8	60 / 60	БрО6Ц6С3	176,2 / 147	4 / 6	60 / 60
БрО3Ц7С5Н1	206 / 176,2	5 / 8	60 / 60	БрО8Ц4	196 / 196	10 / 10	75 / 75
БрО4Ц7С5	176,2 / 147	4 / 6	60 / 60	БрО10Ф1	245 / 215,5	3 / 3	90 / 80
БрО4Ц4С17	147 / 147	12 / 5	60 / 60	БрО10Ц2	225,5 / 215,5	10 / 10	75 / 65
БрО5Ц5С5	176,2 / 147	4 / 6	60 / 60	БрО10С10	196 / 176,2	6 / 7	78 / 65
БрО5С25	137,2 / 147	6 / 5	60 / 45				

Примечание. В числителе приведены механические свойства для отливок, полученных литьем в кокиль, в знаменателе — литьем в песчаную форму.

30. Технологические свойства литейных оловянных бронз

Свойство	БрО3Ц12С5	БрО3Ц7С5Н1	БрО4Ц7С5	БрО4Ц4С17	БрО5Ц5С5	БрО5С25
Температура, °С:						
плавления	980	1030	980	960	915	940
литья	—	—	—	—	1150	—
Жидкотекучесть, мм	550	400	400	250	400	200
Усадка, %:						
линейная	1,6	1,5	1,43	—	1,6	1,5
объемная	—	2,5—4,5	—	—	5,5—6,5	—
Коэффициент трения:						
со смазочным материалом	—	0,015	0,014	0,005	0,009	0,004
без смазочного материала	—	0,16	0,16	0,13	0,15	0,14
Обрабатываемость резанием, %	80	90	80	90		65

Продолжение табл. 30

Свойство	БрО6Ц6С3	БрО8Ц4	БрО10Ф1	БрО10Ц2	БрО10С10
Температура, °С:					
плавления	967	1010	934	1000	930
литья	1150	1100—1150	1150	1120—1150	—
Жидкотекучесть, мм	400	540	450	400	260
Усадка, %:					
линейная	1,6	1,54	1,44	1,5	1,5
объемная	5,5—6,5	—	6,0	5,5—7,5	—
Коэффициент трения:					
со смазочным материалом	0,009	0,006	0,008	0,007	—
без смазочного материала	0,16	0,3	0,1	0,18	—
Обрабатываемость резанием, %	80	60	40	55	—

Примечание. Для бронз всех марок характерны невысокая горячеломкость, высокая герметичность, средняя склонность к газонасыщению и высокая коррозионная стойкость; рабочие температуры 280—286 °С.

31. Области применения литейных оловянных бронз

Марка бронзы	Область применения
БрО3Ц12С5, БрО3Ц7С5Н1	Литые детали сложной тонкостенной арматуры с резкими переходами по толщине стенок как общего назначения, так и работающей в морской воде, насыщенном паре при 225 °С, масле под давлением 2,5 МПа и более; антифрикционные детали; износ этих бронз выше, чем БрО5Ц5С5
БрО4Ц7С5	Литые детали арматуры и антифрикционных узлов трения автомобилей и тракторов (втулки поршневых головок, шатунов дизелей и др.)
БрО4Ц4С17	Литые антифрикционные детали различного назначения (втулки в станках и др.)
БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3	Литые антифрикционные детали узлов трения (втулки, вкладыши подшипников, червячные колеса и др.); арматура, работающая в морской и пресной воде и паре
БрО5С25	Биметаллические подшипники скольжения, подшипники и втулки под поршневые пальцы дизелей, водяных насосов, турбин и другие детали, работающие при небольших давлениях и высоких скоростях скольжения; маслоуплотнительные кольца

Продолжение табл. 31

Марка бронзы	Область применения
БрО8Ц4	Арматура, фасонные части трубопроводов, насосов, работающих в морской воде, детали арматуры, работающие под высоким давлением и температурах до 250—280 °С
БрО10Ц2	Детали сложной конфигурации со стенками различной толщины, стойкие против коррозии и эрозии в морской, пресной воде и других средах; антифрикционные детали (втулки, зубчатые колеса и шестерни, червячные зацепления, облицовки гребных винтов) при средних и высоких давлениях и невысоких скоростях скольжения
БрО10Ф1	Литые детали, работающие в узлах трения (высоко нагруженные детали шлаковых приводов, нажимные и шпиндельные гайки, венцы червячных шестерен, вкладыши при недостаточной подаче смазки, золотники, втулки кривошипных головок шатунов); арматура
БрО10С10	Литые детали подшипников скольжения, работающих в условиях высоких давлений, и детали химического машиностроения и приборостроения

Физические и механические свойства безоловянных бронз приведены соответственно в табл. 34 и 35.

Алюминиевые бронзы обладают повышенной по сравнению с оловянными бронзами усадкой при затвердевании, что требует особых технологических приемов при производстве фасонных отливок; склонны к газонасыщению и окислению при неблагоприятных условиях плавки и заливки; более склонны к трещинообразованию при затрудненной усадке; обладают высокой гигроскопичностью, что затрудняет получение фасонных отливок сложной конфигурации из-за образующихся в них окислов алюминия. Алюминиевые бронзы обладают более высокой жидкотекучестью, меньшей склонностью к дендритной ликвации.

Свинцовые бронзы чрезвычайно склонны к гравитационной ликвации, что требует применения специальных мер при литье — диспергирования, ускоренного охлаждения. Эти бронзы почти в 4 раза превосходят оловянные подшипниковые сплавы по теплопроводности и имеют более высокие рабочие температуры.

Технологические свойства безоловянных бронз приведены в табл. 36.

Из литейных безоловянных бронз изготовляют ответственные тяжелонагруженные детали с повышенными антифрикционными свойствами или детали, работающие в условиях повышенной коррозии, детали различной ответственной арматуры (табл. 37).

Латуни — сплавы на основе меди с цинком (содержание цинка не превышает 50 %).

По химическому составу латуни подразделяются на двойные (простые), состоящие из меди и цинка, и специальные, содержащие легирующие компоненты: Fe, Mn, Ni, Si, Sn и Pb.

В зависимости от содержания цинка структура двойных латуней занимает широкую область твердых растворов (α). При концентрации цинка более 38 % появляется β-фаза — твердый раствор на основе соединения Cu—Zn.

В зависимости от фазового состава различают латуни:

однофазную α-латунь (мягкую, малопрочную, малопластичную);

32. Химический состав [% (мас. доля)] безоловянных литейных бронз (по ГОСТ 493—79)

Марка сплава	Легирующие элементы (Cu—основа)						Сумма определяемых примесей
	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
БрА9Мц2Л (БрАМц9-2Л)	8,0—9,5	—	1,5—2,5	—	—	—	2,8
БрА10Мц2Л (БрАМц10-2)	9,6—11,0	—	1,5—2,5	—	—	—	2,8
БрА9Ж3Л (БрАЖ9-4Л)	8,0—10,5	2,0—4,0	—	—	—	—	2,7
БрА10Ж3Мц2 (БрАЖМц10-3-1,5)	9,0—11,0	2,0—4,0	1,0—3,0	—	—	—	1,0
БрА10Ж4Н4Л (БрАЖН10-4-4А)	9,5—11,0	3,5—5,5	—	3,5—5,5	—	—	1,5
БрА11Ж6Н6 (БрАЖН10-6-6)	10,5—11,5	5,0—6,5	—	5,0—6,5	—	—	1,5
БрА9Ж4Н4Мц1	8,8—10,0	4,0—5,0	0,5—1,2	4,0—5,0	—	—	1,2
БрС30	—	—	—	—	27,0—31,0	—	0,9
БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	6,6—7,5	2,5—3,5	14,0—15,5	1,5—2,5	—	1,5—2,5	0,5
БрСу3Н3Ц3С20Ф	—	—	—	3,0—4,0	18,0—22,0	3,0—4,0	0,9

Примечание. В бронзу БрСу3Н3Ц3С20Ф в качестве легирующих элементов добавлены, % (мас. доля): P 0,15—0,3; Sb 3—4.

двухфазную ($\alpha + \beta$)-латунь;

β-латунь (прочную, твердую, но хрупкую).

В зависимости от названия легирующих компонентов латуни классифицируются следующим образом:

свинцовые и оловянно-свинцовые (ЛЦ40С, ЛЦ40Сд, ЛЦ25С2);

марганцевые и алюминиевые сложнолегированные (ЛЦ40Мц1,5, ЛЦ40Мц3Ж, ЛЦ40Мц3А, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ30А3, ЛЦ23А6Ж3Мц2);

кремнистые (ЛЦ16К4, ЛЦ14К3С3).

Химический состав латуней (табл. 38) должен соответствовать ГОСТ 17711—80.

Комплексное легирование специальных латуней позволяет улучшить их механические и технологические свойства.

Алюминий повышает жидкотекучесть, прочность и коррозионную стойкость латуни.

Марганец влияет аналогично на прочность и коррозионную стойкость латуни, но несколько снижает жидкотекучесть.

Железо сильно измельчает структуру, тормозит рост зерен, а следовательно, улучшает механические свойства латуни.

Кремний равномерно повышает прочность латуни при сохранении пластичности и улучшает ее литейные свойства.

Свинец улучшает главным образом антифрикционные свойства латуней и их обрабатываемость резанием.

Литейные латуни в чушках (табл. 39) по ГОСТ 1020—77 применяют для изготовления латуней по ГОСТ 17711—80 и поставляемой на

33. Химический состав [% (мас. доля)] безоловянных литейных бронз в чушках (по ГОСТ 17328—78)

Марка бронзы	Легирующие элементы (Cu — основа)			Сумма определяемых примесей
БрА10Ж3р	8,5—10,5	2,0—4,0	—	1,7
БрА10Ж3	8,5—10,5	2,0—4,0	—	2,4
БрА10Ж3Мц2	9,0—11,0	2,0—4,0	1,3—3,0	1,7

Примечание. Число и цвет маркировочных полос для бронз: БрА10Ж3р — две черные и одна белая; БрА10Ж3 — черная и белая; БрА10Ж3Мц2 — одна черная и две белых.

34. Физические свойства безоловянных литейных бронз

Свойство	БрА9Мц2Л	БрА9Ж3Л	БрА10Ж3Мц2	БрА10Ж4Н4Л	БрА11Ж6Н6	БрС30	БрА7Мц15Ж3Н2Ц2
Плотность, кг/м³	7600	7500		7800	8100	9500	9400
Температура плавления, °С	1060	1040	1045	1040	1135	980	990
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при 20—100 °С	17,0	16,2	16	—	—	18,4	—
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	71,18	58,62		75,36	58,62	142,35	—
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)	0,44			0,418			—
Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м	0,11	0,123	0,189	0,193	—	—	—

35. Механические свойства безоловянных литейных бронз

Марка	$\sigma_в$, МПа	$\delta_и$, %	НВ
БрА9Мц2Л	392 / 392	20 / 20	80 / 80
БрА10Мц2Л	490 / 490	12 / 12	110 / 110
БрА9Ж3Л	490 / 392	12 / 10	100 / 100
БрА10Ж3Мц2	490 / 392	12 / 10	120 / 100

Продолжение табл. 35

Марка	$\sigma_в$, МПа	δ_5, %	НВ
БрА10Ж4Н4Л	587 / 587	6 / 5	170 / 160
БрА11Ж6Н6	587 / 587	2 / 2	250 / 250
БрА9Ж4Н4Мц1	587 / 587	12 / 12	160 / 160
БрС30	58,7 / —	4 / —	25 / —
БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	— / 607	— / 18	— / —
БрСу3Н3Ц3С20Ф	157 / —	2 / —	65 / —

Примечания: 1. В числителе дроби приведены механические свойства бронз при литье в кокиль; в знаменателе — при литье в песчаные формы.

2. В бронзе БрА9Ж3Л при литье в кокиль допускается относительное удлинение не менее 6 %, если твердость НВ $\geqslant$ 1568 МПа (160 кг/мм^2).

36. Технологические свойства безоловянных литейных бронз

Свойство	БрА9Мц2Л	БрА9Ж3Л	БрА10Ж3Мц2	БрА10Ж4Н4Л	БрА11Ж6Н6	БрА9Ж4Н4Мц1	БрС30
Температура литья, °С	1120—1150	1060—1100	1120—1150	1150—1180			1120
Жидкотекучесть, мм	500	850		700			350
Линейная усадка, %	2,0	2,49	2,4	1,8			1,6
Коррозионная стойкость (потеря массы), г/(м^2·сутки):							
в морской воде	0,25	0,25	0,2	0,18		—	—
в 10 %-ном растворе H_2SO_4	0,42	0,40	0,7	0,58		—	—
Коэффициент трения:							
со смазочным материалом	0,082	0,054	0,063	0,12		—	0,01
без смазочного материала	0,18	0,18	0,19	0,23		—	0,17
Обрабатываемость резанием, % (от обрабатываемости резанием латуни)	25	20	25	20		20	50

37. Области применения литейных безоловянных бронз

Марка бронзы	Область применения
БрА9Мц2 и БрА10Мц2Л	Антифрикционные детали, работающие на истирание при давлении до 3,43 МПа и скоростях до 1,9 м/с (зубчатые колеса, шестерни, венцы зубчатых колес, ходовые гайки, втулки и др.); корпуса насосов, тарелки клапанов, коробки сальников, а также различные детали, работающие в пресной воде, жидком топливе и паре при температуре до 250 °С; могут заменять оловянные бронзы марок БрО10Ц2 и БрО8Ц4
БрА9Ж3Л	Арматура для работы в различных средах при температурах до 250 °С; антифрикционные детали, работающие на истирание (зубчатые колеса, втулки, поршневые кольца и др.); массивные детали, получаемые литьем в песчано-глинистые формы (гайки нажимных винтов, ободья и т. д.) Могут быть использованы для замены бронз БрО10Ц2 и БрО6Ц6С3
БрА10Ж3Мц2	Антифрикционные детали (цилиндрические и конические зубчатые колеса, шестерни, червячные колеса, гайки ходовых винтов, подшипники дизелей средней нагруженности и др.); детали в условиях высоких статических нагрузок (коромысла, втулки, маховики и др.); детали, работающие в среде соляной кислоты и сероводорода при температуре 30—90 °С; арматура для работы в пресной воде, жидком топливе, паре при температурах до 260 °С, кроме морской воды
БрА10Ж4Н4Л, БрА11Ж6Н6	Детали для нефтяной, химической и пищевой аппаратуры; детали, работающие при температурах до 500 °С; антифрикционные детали, работающие на истирание при высоких давлениях и больших скоростях (шестерни, втулки, седла клапанов и др.); арматура, работающая в морской воде. Бронза наиболее стойкая в морской воде по сравнению с другими безоловянными бронзами
БрА9Ж4Н4Мц1	Фасонное литье неответственного назначения; арматура, работающая в морской воде
БрС30	Антифрикционные детали (подшипники), работающие при высоких скоростях скольжения ($v = 4 \div 5$ м/с) и повышенных давлениях ($p = 9{,}8 \div 14{,}7$ МПа), знакопеременных нагрузках и температурах, когда обыкновенные баббиты непригодны (втулки и вкладыши нижних головок главного шатуна мощных дизелей, подшипники авиационных двигателей и др.)

Продолжение табл. 37

Марка бронзы	Область применения
БрСу3Н3Ц3С20Ф	Антифрикционные детали, работающие на истирание (фрикционные и зубчатые колеса, шестерни, венцы червячных колес, втулки-подшипники) при значительных скоростях скольжения и давлениях
БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	Антифрикционные детали

38. Химический состав [% (мас. доля)] литейных латуней (по ГОСТ 17711—80)

Марка латуни	Основные элементы (остальное Zn)						Сумма определяемых примесей
	Cu	Al	Fe	Mn	Si	Pb	
ЛЦ40С	57,0—61,0	—	—	—	—	0,8—2,0	2,0
ЛЦ40Сд	58,0—61,0	—	—	—	—	0,8—2,0	1,5
ЛЦ40Мц1,5	57,0—60,0	—	—	1,0—2,0	—	—	2,0
ЛЦ40Мц3Ж	53,0—58,0	—	0,5—1,5	3,0—4,0	—	—	1,7
ЛЦ40Мц3А	55,0—58,5	0,5—1,5	—	2,5—3,5	—	—	1,5
ЛЦ38Мц2С2	57,0—60,0	—	—	1,5—2,5	—	1,5—2,5	2,2
ЛЦ30А3	66,0—68,0	2,0—3,0	—	—	—	—	2,6
ЛЦ25С2	70,0—75,0	—	—	—	—	1,0—3,0	1,5
ЛЦ23А6Ж3Мц2	64,0—68,0	4,0—7,0	2,0—4,0	1,5—3,0	—	—	1,8
ЛЦ16К4	78,0—81,0	—	—	—	3,0—4,5	—	2,5
ЛЦ14К3С3	77,0—81,0	—	—	—	2,5—4,5	2,0—4,0	2,3

Примечание. В латунь ЛЦ25С2 в качестве легирующего элемента добавляют 0,5—1,5 % (мас. доля) Sn.

экспорт, а также для производства отливок.

Масса чушек не более 42 кг. При маркировке на торцы чушек несмываемой краской наносят полосы: ЛС — одна белая; ЛСд — две белые; ЛОС — белая, черная, белая; ЛК — белая, красная; ЛК-1 — белая, две красные; ЛК-2 — две белые, красная; ЛКС — белая, красная, черная; ЛМцС — белая, синяя; ЛМцЖ — белая, зеленая; ЛА — белая, желтая; ЛАЖМц — белая, коричневая.

Физические и механические свойства латуней. Латуням присущи все положительные свойства меди и других медных сплавов, т. е. высокие электропроводность и теплопроводность при

39. Химический состав [% (мас. доля)] латуней в литейных чушках (по ГОСТ 1020—77)

Марка латуни	Основные элементы (остальное Zn)						Сумма определяемых примесей
	Cu	Pb	Si	Mn	Fe	Al	
ЛС	56—61	0,8—1,9	—	—	—	—	2,0
ЛСд	57—61	0,8—1,5	—	—	—	—	1,5
ЛОС	60—75	1,0—3,0	—	—	—	—	1,5
ЛК	76—81	—	2,8—4,5	—	—	—	2,5
ЛК1	78—81	—	3,0—4,5	—	—	—	2,4
ЛК2	76—81	—	1,9—2,8	—	—	—	2,5
ЛКС	76—81	2,0—4,0	2,5—4,5	—	—	—	2,0
ЛМцС	56—60	1,5—2,5	—	1,8—2,5	—	—	2,2
ЛМцЖ	53—58	—	—	3,0—4,0	0,5—1,5	—	1,7
ЛА	63—68	—	—	—	—	2,2—3,0	2,6
ЛАЖМц	63—70	—	—	1,5—3,0	2,0—3,0	4,0—7,0	1,8

Примечание. В латунь ЛОС в качестве легирующего элемента добавляют 0,5—1,5 % (мас. доля) Sn.

более высокой прочности. Физические свойства литейных латуней приведены в табл. 40.

Механические свойства латуней определяются свойствами фаз. По мере возрастания содержания меди в латунях их прочность возрастает в однофазной области до 200—300 МПа и достигает в двухфазной области 450 МПа. Пластичность увеличивается от 30 до 50 % и проходит через максимум при содержании цинка около 30 % (мас. доля), а затем в двухфазной области резко падает.

Механические свойства отливок из латуней в значительной степени зависят от способа литья; лучшими механическими свойствами обладают отливки, полученные литьем в кокиль (табл. 41).

Сплавы Cu—Zn кристаллизуются в узком температурном интервале (50—60 °С), что в значительной мере определяет их технологические свойства и исключает дендритную ликвацию. Латуни имеют хорошую жидкотекучесть; получаемые отливки имеют небольшую пористость (главным образом осевую) и сосредоточенную усадочную раковину. В связи с этим линейная усадка латуней больше, чем оловянных бронз. Узкий интервал кристаллизации определяет склонность к образованию столбчатой структуры и транскристаллизации.

Для литейных латуней характерны хорошие литейные свойства (табл. 42).

Отливки из литейных латуней обладают высокой герметичностью и способны выдерживать давление до 30—40 МПа.

Литейные латуни применяют для изготовления фасонных отливок, которые нельзя выполнить или невыгодно изготовлять из деформированных полуфабрикатов. Для фасонного литья применяют сложнолегированные латуни; простые латуни используют сравнительно редко.

По механическим свойствам ряд многокомпонентных латуней превосходит оловянные бронзы и почти не уступает безоловянным бронзам (например, алюминиевым). Отливки из латуней имеют более однородные свойства в разных сечениях по сравнению с отливками из оловянных бронз. Латуни дешевле большинства литейных бронз.

Основным недостатком большинства латуней по сравнению с бронзами является их пониженная коррозионная стойкость в некоторых средах (напри-

40. Физические свойства латуней

Свойство	ЛЦ40С	ЛЦ40Сд	ЛЦ40Мц1,5	ЛЦ40Мц3Ж	ЛЦ40Мц3А
Плотность, кг/м³	8500			8300	8400
Температура плавления, °С	885		880		920
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	20,1		21,0	22,0	—
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	108,9			100,5	
Теплоемкость, кДж/(кг·°С)	0,50		0,48	—	0,48
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,068		0,118	0,122	—

Свойство	ЛЦ38Мц2С2	ЛЦ30А3	ЛЦ25С2	ЛЦ23А6Ж3Мц2	ЛЦ16К4	ЛЦ14К3С3
Плотность, кг/м³	8500		8500			8600
Температура плавления, °С	880	995	890	900		909
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	21,0	—	—	19,8	17,0	
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	46,1	113,0	108,9	50,2	83,7	
Теплоемкость, кДж/(кг·°С)	0,48	—	0,48	—	—	—
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,118	0,08	0,118	—	0,2	

мер, в морской воде).

Характерными видами коррозии латуни является обесцинкование и коррозионное («сезонное») растрескивание в присутствии влаги, кислорода, аммиака и других газов. Для предупреждения коррозионного растрескивания изделий из латуни их подвергают отжигу при 250—650 °С. Не рекомендуется применять латуни в контакте с железом, алюминием и цинком.

Область применения латуней различных марок:

ЛЦ40С — фасонное литье арматуры, втулок и сепараторов шариковых и роликовых подшипников;

ЛЦ40Сд — литье под давлением деталей арматуры (втулки, тройники, переходники, сепараторы подшипников), работающих в среде воздуха и пресной воды;

ЛЦ40Мц1,5 — изготовление деталей простой конфигурации, работающих при ударных нагрузках, а также деталей узлов трения, работающих в условиях спокойной нагрузки при температурах выше 60 °С;

41. Механические свойства литейных латуней

Марка латуни	Способ литья	$\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ_5, %	Твердость НВ
ЛЦ40С	П	215	12	70
	К, Ц		20	80
ЛЦ40Сд	Д	196	6	70
	К	264	18	100
ЛЦ40Мц1,5	П	372	20	100
	К, Ц	392		110
ЛЦ40Мц3Ж	П	441	18	90
	К	390	10	100
	Д	392		90
ЛЦ40Мц3А	К, Ц	441	15	115
ЛЦ38Мц2С2	П	245	15	80
	К	343	10	85
ЛЦ30А3	П	294	12	80
	К	392	15	90
ЛЦ25С2	П	146	8	60
ЛЦ23А6Ж3Мц2	П	686	7	160
	К	705		165
ЛЦ16К4	П	294	15	100
	К	343		110
ЛЦ14К3С3	П	245	7	90
	К	294	15	100

ЛЦ40МцЖ3 — несложные по конфигурации детали ответственного назначения, арматура морского судостроения, работающая при температуре до 300 °С; массивные детали, гребные винты и их лопасти для судов с металлическим корпусом (кроме судов, предназначенных для службы в тропиках);

ЛЦ40Мц3А — детали несложной конфигурации;

ЛЦ38Мц2С2 — конструкционные детали и аппаратура для судов; антифрикционные детали несложной конфигурации (втулки, вкладыши, ползуны, арматура вагонных подшипников);

ЛЦ30А3 — коррозионно-стойкие детали, применяемые в судостроении и машиностроении;

ЛЦ25С2 — штуцера гидросистем автомобилей;

ЛЦ23А6Ж3Мц2 — ответственные детали, работающие при высоких знакопеременных нагрузках, при изгибе, а также антифрикционные детали (нажимные винты, гайки нажимных винтов прокатных станов, венцы червячных колес, втулки и другие детали);

ЛЦ16К4 — сложные по конфигурации детали приборов и арматуры, работающие при температуре до 250 °С и подвергающиеся гидровоздушным испытаниям; детали, работающие в морской воде при условии обеспечения протекторной защиты (шестерни, детали узлов трения и др.);

ЛЦ14К3С3 — подшипники и втулки.

Марки латуней в чушках и марки литейных латуней, получаемых при использовании латуни в чушках в качестве шихты, приведены в табл. 43.

5. Никелевые сплавы

Литейные никелевые сплавы по назначению подразделяют на коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные и сплавы со специальными свойствами (магнитные).

Жаростойкие сплавы (табл. 44), как правило, имеют двухкомпонентную основу Ni—Cr. При содержании в сплаве 15—20 % (мас. доля) хрома сплав

42. Технологические свойства литейных латуней

Свойство	ЛЦ40С	ЛЦ40Сд	ЛЦ40Мц1,5	ЛЦ40Мц3Ж	ЛЦ40Мц3А
Жидкотекучесть, мм	300	270	360	600	350
Линейная усадка, %	2,2		1,6		1,8
Коррозионная стойкость (потеря массы), г/(м²·ч):					
в морской воде	0,059		0,05	0,047	
в паре	0,02	—	—	—	—
Обрабатываемость резанием, % (от обрабатываемости резанием ЛЦ25С2)	80	—	30	25	20

Свойство	ЛЦ38Мц2С2	ЛЦ30А3	ЛЦ23А6Ж3Мц2	ЛЦ16К4	ЛЦ14К3С3
Жидкотекучесть, мм	400	570	470	800	600
Линейная усадка, %	1,8	1,55		1,7	
Коррозионная стойкость (потеря массы), г/(м²·ч):					
в морской воде	0,05	—	—	0,068	—
в паре	—	—	—	0,312	—
Обрабатываемость резанием, % (от обрабатываемости резанием ЛЦ25С2)	35	30	25	30	50

называют нихромом. Основное достоинство нихрома — высокая жаростойкость за счет образования на поверхности плотного оксидного слоя Cr_2O_3 с хорошими защитными свойствами. Добавки алюминия и кремния улучшают окалиностойкость и одновременно повышают прочностные свойства.

Применяют нихром для получения отливок жаростойкой арматуры и печного оборудования, а также для нагревательных элементов.

Жаропрочные сплавы (табл. 45) обладают высокой длительной прочностью при заданных температурах.

Основой жаропрочных сплавов является нихром, обладающий высокой окалиностойкостью. Для дисперсного упрочнения вводят добавки алюминия и титана; дисперсионное упрочнение достигается при типовой термической обработке: высокотемпературной закалке (от 1150—1230 °С) и последующем искусственном старении при температуре, близкой к рабочей, т. е. при 800—950 °С.

Наиболее эффективно комплексное легирование, так как твердые растворы и металлидные фазы сложного состава имеют высокую прочность. Обычно жаропрочные сплавы содержат шесть — восемь легирующих элементов. Суммарное содержание алюминия и титана влияет на жаропрочность более эффективно, чем суммарное со

43. Марки латуней в чушках и получаемых из них латуней, маркировка латуней в чушках

Марка латуни		Чушки маркируются цветными полосами
в чушках	получаемой из чушек	
ЛС	ЛЦ40С	Красной и белой
ЛСд	ЛЦ40Сд	Двумя красными и одной белой
ЛОС	ЛЦ25С2	Тремя красными
ЛК1	ЛЦ16К4	Двумя красными и одной зеленой
ЛК2	—	—
ЛКС	—	Красной и синей
ЛМцС	ЛЦ38Мц2С2	Зеленой и синей
ЛМцЖ	ЛЦ40Мц3Ж	Двумя зелеными
ЛА	ЛЦ30А3	Двумя белыми
ЛАЖМц	ЛЦ23А6Ж3Мц2	Двумя синими

Примечание. Латунь в чушках используют при литье под давлением.

держание молибдена и вольфрама.

Свойства сплавов определяются количеством, формой и распределением фаз, а эти параметры зависят от скорости охлаждения при литье и режимов термической обработки.

Нихром является узкоинтервальным сплавом ($\Delta t_{кр} \approx 20 \div 30$ °С). Отливки из нихрома плотные, с линейной усадкой 1,9—2 %.

Химический состав литейных магнитных сплавов на никелевой основе приведен в табл. 46; физические и механические свойства жаростойких, жаропрочных и магнитных сплавов даны соответственно в табл. 47—50; в табл. 50 приведены также технологические свойства жаропрочных сплавов.

Литейные никелевые сплавы обладают более высокой жаростойкостью и жаропрочностью по сравнению с аналогичными свойствами деформируемых сплавов вследствие более высокой степени легирования литейных сплавов. Но наряду с этим свойства никелевых сплавов не всегда постоянны, поэтому запас прочности литых деталей на 40—50 % больше, чем запас прочности деталей из деформируемых сплавов.

Двойные нихромы, используемые для фасонного литья, обладают высокой жаростойкостью в среде окислительных и восстановительных газов. Отливки из этих сплавов выдерживают многократные нагревы и охлаждения без трещин и коробления, их широко применяют для печной арматуры, деталей цементационных установок.

Сплавы, содержащие молибден и железо, устойчивы в соляной кислоте при высокой температуре. Отливки имеют повышенную жаропрочность и стойкость против эрозии.

Жаропрочные сплавы применяют для изготовления сопловых лопаток и венцов цельнолитых роторов и рабочих лопаток газовых турбин различного назначения.

Области применения никелевых сплавов различных марок:

ХН78Т — детали, работающие в среде разбавленных органических кислот, пищевых продуктов;

Х20Н80 и инконель 85-15-5 применяют для отливок, из которых изготовляют детали, работающие в среде окислительных и восстановительных газов при многократном нагреве и охлаждении, а также для литья жаростойкой арматуры печного оборудования и нагревательных элементов с рабочими температурами 800—1200 °С;

ХН80ТБЮ и ХН70ВМЮТ — лопатки газовых турбин, работающие при 800—1000 °С;

Н65М17Х15В5Л, Н65М28Л и Н55М6Х15Л — детали, работающие в среде разбавленных кислот или при повышенных температурах, жаропрочные детали;

ЖС3 — сопловые лопатки газотур-

44. Химический состав [% (мас. доля)] жаростойких литейных сплавов на основе никеля [75]

Марка сплава	Легирующие элементы (Ni—основа)					
	Cr	Fe	Mo	V	Mn	Ti
ХН78Т	19—22	До 1	—	—	До 0,7	0,15—0,35
Х20Н80 (нихром)	20—23	—	—	—	—	—
Нихром (инконель) 85-15-5	15	5	—	—	—	—
ХН80ТБЮ	15—18	До 3	—	—	1	—
ХН70ВМЮТ	14—16	До 3	3—5	4—6	0,5	1—1,4
Н65М17Х15В5Л	15—17	1—8	15—20	4—6	1	—
Н65М28Л	—	До 6	26—30	—	0,4—0,6	—
Н55М6Х15Л	21—23	13,5—17	5,5—7,5	1	1—2	—
ХН65ВМТЮ	15—17	—	—	—	До 0,5	1,2—1,6

Марка сплава	Легирующие элементы (Ni—основа)			Примеси, не более	
	Al	C	Другие	S	P
ХН78Т	До 0,15	До 0,12	Cu до 0,2	0,015	0,02
Х20Н80 (нихром)	—	До 0,15	Si 0,4—1,5	—	—
Нихром (инконель) 85-15-5	—	—	—	—	—
ХН80ТБЮ	0,5—1,0	До 0,08	Nb 1—1,5; Si 0,8	0,02	0,02
ХН70ВМЮТ	1,7—2,2	0,1—0,16	Si до 0,6	0,02	0,02
Н65М17Х15В5Л	—	До 0,01	Si до 1; V до 0,35	0,03	0,04
Н65М28Л	—	0,01	Si до 0,8	0,01	0,01
Н55М6Х15Л	—	До 0,05	Si до 1; V до 2,5	0,03	0,04
ХН65ВМТЮ	1,2—1,6	До 0,05	Si до 0,6	—	—

бинных двигателей, работающих при 800—900 °С, полученные литьем в керамические и стержневые формы;

ЖС3-Д — точное литье фасонных деталей, работающих при температуре до 900 °С; сплав имеет более высокую жаропрочность по сравнению со сплавом ЖС3;

ЖС6 — сопловые лопатки, обладающие очень высокой жаропрочностью при рабочих температурах 800—1000 °С; отливки получают в вакууме методом точного литья;

ЖС6-К и ЖС6-КП — сопловые лопатки и цельнолитые роторы, работающие при температурах 800—1050 °С; обладают наиболее высокими жаропрочными свойствами по сравнению с другими сплавами на никелевой основе; отливки получают в вакууме методом точного литья; для повышения окалиностойкости деталей при температурах более 950 °С и увеличения ресурса отливки алитируют;

ВЖ36-Л1 и ВЖ36-Л2 — литье в вакууме роторов небольших газовых турбин, работающих при температуре до 900 °С;

АНВ300 — точное литье в вакууме сопловых и рабочих лопаток газотурбинных двигателей, работающих при температуре до 900 °С.

Область применения магнитных литейных сплавов марок:

79НМ — магниты с высокой магнитной проницаемостью в слабых полях;

50НХС — магниты с повышенной

45. Химический состав [% (мас. доля)] литейных жаропрочных сплавов на никелевой основе [57]

Марка сплава	Легирующие элементы (Ni—основа)					
	Cr	Si (не более)	Mn (не более)	Mo	Ti	Al
ЖС3	14,0—18,0	0,6	0,6	3,0—4,5	1,6—3,2	1,6—2,2
ЖС6	11,5—13,5	0,4	0,4	4,0—5,5	2,2—2,8	4,7—5,2
ЖС6-К	10,5—12,5	0,4	0,4	2,5—4,5	2,5—3,0	5,0—5,2
ВЖ36-Л1	10,0—12,0	0,5	0,5	3,7—4,5	0,4—0,6	4,8—5,2
ВЖ36-Л2	20,5	—	—	—	2,5	3,7
АНВ300	14,0—17,0	0,5	0,5	—	1,4—2,0	4,5—5,5
Н65ВМТЮ	15,0—17,0	0,5	0,5	3,5—4,5	1,2—1,6	1,2—1,6

Марка сплава	Легирующие элементы (Ni—основа)			Примеси, не более
	W	Fe, не более	C	
ЖС3	4,5—6,5	8,0	0,11—0,16	V 0,3; B 0,02; Ce 0,0015
ЖС6	6,0—8,0	2,0	0,11—0,18	B 0,02
ЖС6-К	4,5—5,5	2,0	0,13—0,20	B 0,10; Ce 0,01
ВЖ36-Л1	7,0—9,0	1,5	0,08 и менее	P 0,10; Ce 0,01; V 0,7—1,1
ВЖ36-Л2	—	—	0,06 » »	B 0,3; V 0,01
АНВ300	7,0—10,0	—	0,10 » »	B 0,1
Н65ВМТЮ	9,0—10,0	3,0	0,08 » »	—

Примечание. В сплаве ЖС6-К содержится 4—5 % (мас. доля) Co.

проницаемостью и высоким электросопротивлением;

80НХС — магниты с высокой магнитной проницаемостью в слабых полях.

6. Медно-никелевые сплавы

Литейные медно-никелевые сплавы (табл. 51) относятся к коррозионностойким.

По химическому составу эти сплавы отличаются в основном содержанием примесей.

Литейные медно-никелевые сплавы изготовляют на основе следующих систем: Ni—Cu; Ni—Cu—Pb (Sn); Ni—Cu—Si; Ni—Cu—Fe.

Сплавы Ni—Cu обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах.

Добавление Sn (Pb) улучшает антифрикционные свойства сплава, а добавление 1—3 % (мас. доля) кремния улучшает литейные свойства, повышает хрупкость, увеличивает износостойкость.

Медно-никелевые сплавы по механическим и физическим свойствам (табл. 52 и 53), а также по области применения относятся к конструкционным материалам.

Области применения медно-никелевых сплавов различных марок:

НМЖМц (высокая коррозионная стойкость ко многим агрессивным средам) — в нефтяном, химическом и судостроительном машиностроении, а также для литья герметичных деталей;

НМК30-1 (высокая износостойкость) — литье герметичных деталей (рабочие колеса насосов, тройники,

46. Химический состав [% (мас. доля)] литейных магнитных сплавов на никелевой основе [75, 88]

Марка сплава	Основные элементы (Fe—остальное)				
	Ni	Si	Cr	Mo	Mn
79НМ	78,5—80,0	0,3—0,5	—	3,8—4,1	0,6—1,1
50НХС	49,5—51,0	1,1—1,4	3,8—4,2	—	0,6—1,1
80НХС	79,0—81,0	1,1—1,5	2,6—3,0	—	0,6—1,1

47. Физические и механические свойства жаростойких сплавов на основе никеля

Свойство	ХН78Т	Х20Н80	ХН70ВМЮТ	ХН80ТБЮ	Н65М17Х15В5Л	Н65М28Л	Н55М6Х15Л
Температура плавления, °С	—	1400	—	—	1270—1300	1320—1350	1290—1300
Плотность, кг/м³	8800	8400	—	—	8900	9200	8150
Временное сопротивление (МПа) при температуре, °С:							
20	686—853	686—755	677—736	588—952	490—540	490—588	392—490
800	196	392	490—686	392—520	—	—	—
Предел текучести, МПа, при температуре, °С:							
20	285	432	520—618	412—686	294—392	343—392	343
800	108	—	353—461	—	—	—	—
Относительное удлинение (%) при температуре, °С:							
20	35—50	25—35	4—7	15—16	10—15	10—16	15—20
800	39	50	5—13	—	—	—	—
Твердость НВ (МПа) при 20 °С	—	980	—	—	1715—2107	1960	1960
Линейная усадка, %	1,95	1,9	—	1,85	1,9—2,0	2—2,3	1,9—2,0

48. Термическая обработка и механические свойства жаропрочных никелевых литейных сплавов

Марка сплава	Режимы закалки *		Температура испытаний, °С	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	$a_н$, кДж/м²	σ_{100}, МПа
	Температура, °С	Время выдержки на воздухе, ч		МПа		%			
ЖС3	1150	7	20	736	—	8,5	14	147—245	—
			800	549	—	3	17	147—245	285—294
			900	392	—	4	7	—	98
ЖС3-Д	1200	7	20	1030	785	6—10	10—15	294—588	—
			800	834	490	7	8	294—392	373
			900	736	—	8—12	8—16	274—333	285—294
ЖС6	1200	4	20	1020	—	1	2	196	—
			800	834	—	0,5	1,5	147—196	490
			900	765	—	2,5	3	294—343	275
ЖС6-К	1200	2	20	981	—	2,5	6,5	98—294	—
		4	800	902	—	2	5	—	510
			900	765	—	2	3	—	510
ВЖ36-Л1	950	10	750	746	668	3—5	2	98—196	490
			850	686	560	3—5	2	—	343
			950	500	294	—	11	—	157
			1000	392	216	—	15	—	98
АНВ300	1200	10	20	834	—	1,4	2	—	—
			850	686	—	0,5	2,5	—	235
			950	490	—	1,7	3,5	—	96
Н65ВМТЮ	1150	4	700	608	588	5	5—10	147	588
	1080	4	800	608	588	6	10—15	147	334
			900	422	392	10	15—20	147	148
			950	245	—	—	—	—	89

* Закалочная среда — воздух.

49. Физические и механические свойства литейных магнитных сплавов на основе никеля

Марка сплава	Плотность, г/см³	Удельное электрическое сопротивление ρ, мкОм·м	Температура точки Кюри θ, °С	$\sigma_в$, МПа	δ_5, %	ψ, %	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при 20—100 °С
79НМ	8,6	0,55	430	1030—490	3/50	—	980—145	210/120	10,8
50НХС	8,2	0,90	360	880/490	3/—	—	1080/590	190/125	11,2
80НХС	8,5	0,62	330	930/540	4/45	15/—	880/490	240/130	13,8

Примечание. В числителе приведены свойства сплавов до термической обработки, в знаменателе — после нее.

50. Физические и технологические свойства литейных жаропрочных сплавов на никелевой основе

Свойство	ЖС3	ЖС6	ВЖ36-Л1	АНВ300
Температура заливки, °С	1550—1650	1500—1600	1500—1600	1500—1600
Линейная усадка, %	2,1—2,3	2,0—2,5	1,9—2,1	1,1—1,6
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при температуре, °С:				
20—200	12,2	14,1	14,2	15,0
20—400	14,1	15,2	14,8	16,6
20—600	15,9	16,7	16,2	18,0
20—800	19,1	21,2	19,1	18,2
Теплопроводность, Вт/(м·°С) при температуре, °С:				
20—200	13,39	11,72	10,04	—
20—400	15,49	15,90	13,40	—
20—600	18,00	19,25	15,90	—
20—800	24,28	23,45	24,56	—

втулки и др.), стойких в морской воде, органических кислотах и других агрессивных средах;

НМК2,8-2,5 — детали, к которым предъявляются повышенные требования при работе в коррозионных средах (кислотах);

никелевая бронза — корпуса центробежных насосов, уплотнительные кольца, крышки клапанов, подшипники и другие детали, к которым предъявляют высокие требования по износостойкости при работе в агрессивных средах;

МНЦ15-20 (высокая коррозионная стойкость, хорошие механические свойства) — литые детали для медицинских инструментов, технической посуды, паровой и водяной арматуры, художественных изделий;

НК10 (высокая кислотостойкость в горячих растворах серной кислоты) — литье герметичных деталей, работающих при повышенных температурах;

51. Химический состав [% (мас. доля)] медно-никелевых литейных сплавов [15, 75]

Марка сплава	Основные элементы (Cu — остальное)				Примеси, не более
	Ni	Fe	Mn	другие	
НМЖМц28-2,5-1,5	67—70	2,0—3,0	1,2—1,8	—	Si 0,05; Mg 0,1; Pb 0,002; S 0,01; C 0,2; P 0,005; Bi 0,002; As 0,01; Sb 0,002
НМК30-1	63—68	До 3,0	0,5—1,5	Si 0,5—1,2	C 0,3; S 0,003; Mg 0,1; As 0,01
НМК28-2,5				Si 2,5—3,0	C 0,12; S 0,03; Mg 0,1; As 0,01
Никелевая бронза	40—50	0,5—1,0	—	Sn 5—10; Pb 6—10; Zn 1	—
Нейзильбер МНЦ15-20	13,5—16,5	—	—	—	Fe 0,3; Si 0,15; Mg 0,05; Mn 0,3; Pb 0,02; S 0,05; C 0,03; P 0,005; Bi 0,02; As 0,07; Sb 0,002
Хастеллой Д (НК10)	87—90	—	—	Si 10	C 0,02—0,05; Fe 0,1; Mn до 1; Cu до 3
Никель—алюминий (НА)	80—90	—	—	—	—

Примечание. Сплавы НК10 и НА относятся к коррозионно-стойким.

52. Механические свойства медно-никелевых литейных сплавов

Марка сплава	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	$a_н$, кДж/м²	НВ
НМЖМц28-2,5-1,5	540—638	343	40	940	130
НМК30-1	353—510	157	16—40	735—1078	100—150
НМК28-2,5	510—618	226	8—15	490—686	180—230
	294—392	196—294	5—20	392	100—170
МНЦ15-20	373—441	137	35—45	—	100—175
НК10	245—392	—	1	—	400—500

53. Физические свойства медно-никелевых литейных сплавов

Свойство	НМЖМц28-2,5-1,5	МНЦ15-20
Температура плавления, °С	1350	1080
Плотность, кг/м³	8820	8700
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6 \times$ $\times (1/°C)$ при 25—300 °С	15	16,6
Теплопроводность [Вт/(м·°С)] при 0—100 °С	25,12	27,22
Удельная теплоемкость [кДж/(кг·°С)] при 200—400 °С	1,25	0,93
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,482	0,26

Примечание. Физические свойства других медно-никелевых литейных сплавов:

Сплав	НМК30-1	НМК28-2,5	Никелевая бронза	НК10
Температура плавления, °С	1320	1320	1250—1300	1110—1120
Плотность, кг/м³	8500—8900	8500—8800	8600	7800

54. Технологические свойства медно-никелевых сплавов

Свойство	НМЖМц28-2,5-1,5	НМК30-1	НМК28-2,5	Никелевая бронза	МНЦ15-20	НК10	НА
Температура (°С) заливки сплава для отливок:							
толстостенных	1520	1500	1470	1380	1170	1180	1520—1550
тонкостенных	1560	1560	1530	1450	—	1250	1500—1520
Линейная усадка, %	2,1	—	—	2,2	2,02	1,9	—

НА (никель—алюминий) — литье коррозионно-стойких деталей, работающих при повышенных температурах (350—450 °С).

Технологические свойства медно-никелевых сплавов приведены в табл. 54.

7. Цинковые сплавы

Цинковые сплавы применяют для литья под давлением различных деталей небольших габаритных размеров и невысокой прочности, а также используют как антифрикционные.

По химическому составу цинковые сплавы подразделяют на сплавы системы:

Zn—Al (ZnAl4A, ЦА4о, ЦА4) с узким температурным интервалом кристаллизации (~10 °С); структура сплавов состоит из первичных кристаллов твердого раствора и эвтектики смеси двух твердых растворов ($\alpha+\beta$);

Zn—Cu (ZnAl4Cu3A, ЦА4М3о, ЦА4М3) с содержанием 2—4 % (мас.

55. Химический состав [% (мас. доля)] цинковых литейных сплавов (по ГОСТ 25140—82)

Марка сплава	Легирующие элементы (Zn — основа)		
	Al	Cu	Mg
ZnAl4A	3,5—4,5	—	0,02—0,06
ЦА4о	3,5—4,5	—	0,02—0,06
ЦА4	3,5—4,5	—	0,02—0,06
ZnAl4Cu1A	3,5—4,5	0,7—1,3	0,02—0,06
ЦА4М1о	3,5—4,5	0,7—1,3	0,02—0,06
ЦА4М1	3,5—4,5	0,7—1,3	0,02—0,06
ЦА4М1в	3,5—4,5	0,7—1,3	0,02—0,10
ZnAl4Cu3A	3,5—4,5	2,5—3,7	0,02—0,06
ЦА4М3о	3,5—4,5	2,5—3,7	0,02—0,06
ЦА4М3	3,5—4,5	2,5—3,7	0,02—0,06

Марка сплава	Примеси, не более						
	Cu	Pb	Cd	Sn	Fe	Si	Pb+Cd+Sn
ZnAl4A	0,06	0,004	0,003	0,001	0,06	0,015	0,007
ЦА4о	0,06	0,005	0,003	0,001	0,06	0,015	0,009
ЦА4	0,06	0,01	0,005	0,002	0,07	0,015	—
ZnAl4Cu1A	—	0,004	0,003	0,001	0,06	0,015	0,007
ЦА4М1о	—	0,005	0,003	0,001	0,06	0,015	0,009
ЦА4М1	—	0,01	0,005	0,002	0,07	0,015	—
ЦА4М1в	—	0,02	0,015	0,005	0,12	0,03	—
ZnAl4Cu3A	—	0,004	0,003	0,001	0,06	0,015	0,007
ЦА4М3о	—	0,006	0,003	0,001	0,06	0,015	0,009
ЦА4М3	—	0,01	0,005	0,002	0,07	0,015	—

56. Химический состав [% (мас. доля)] цинковых антифрикционных сплавов (по ГОСТ 21437—75)

Марка сплава	Легирующие элементы (Zn — основа)			Сумма определяемых примесей
	Al	Cu	Mg	
ЦАМ 9—1,5Л	9,0—11,0	1,0—2,0	0,03—0,06	0,35
ЦАМ 10—5Л	9,0—12,0	4,0—5,5	0,03—0,06	0,35

57. Химический состав [% (мас. доля)] цинковых литейных сплавов в чушках (по ГОСТ 19424—74)

Марка сплава	Легирующие элементы (Zn—основа)			Примеси, не более					
	Al	Cu	Mg	Cu	Pb	Fe	Sn	Cd	Ni
ZnAl4A *	3,5—4,3	—	0,03—0,06	0,03	0,003	0,03	0,001	0,002	—
ЦА4о	3,9—4,3	—	0,03—0,06	0,03	0,004	0,05	0,001	0,002	0,015
ЦА4	3,5—4,3	—	0,03—0,06	0,03	0,01	0,05	0,002	0,005	0,015
ZnAl4Cu1A *	3,5—4,3	0,7—1,2	0,03—0,06	—	0,003	0,03	0,001	0,002	—
ЦАМ4—1о	3,9—4,3	0,7—1,2	0,03—0,06	—	0,004	0,05	0,001	0,002	0,015
ЦАМ4—1	3,5—4,3	0,7—1,2	0,03—0,06	—	0,01	0,05	0,002	0,005	0,015
ZnAl4Cu3A *	3,5—4,3	2,5—3,5	0,03—0,06	—	0,003	0,03	0,001	0,002	—
ZnAl4Cu3 *	3,5—4,3	2,5—3,5	0,03—0,06	—	0,005	0,05	0,001	0,002	—
ЦАМ4—3	3,5—4,3	2,5—3,5	0,03—0,06	—	0,01	0,05	0,002	0,005	—
ЦАМ4—1в	3,5—4,3	0,6—1,2	Не более 0,1	—	0,02	0,10	0,005	0,015	0,03

* Сплавы, применяемые только в договорно-правовых отношениях по сотрудничеству.

58. Химический состав [% (мас. доля)] цинковых антифрикционных сплавов в чушках (по ГОСТ 21438—75)

Марка сплавов	Легирующие элементы (Zn—основа)			Сумма определяемых примесей
	Al	Cu	Mg	
ЦАМ 9—1,5Ч	9,0—11,0	1,0—2,0	0,03—0,06	0,185
ЦАМ 10—5Ч	9,0—12,0	4,0—5,5	0,03—0,06	

Примечание. Чушки из сплава ЦАМ 9—1,5Ч маркируются одной красной полосой; из сплава ЦАМ 10—5Ч — одной синей полосой.

59. Физические свойства цинковых сплавов

Марка сплава	Плотность, кг/м³	Температурный интервал затвердевания, °С	Удельная теплоемкость при 20 °С, Дж/(кг·°С)	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С
ЦА4	6700	380—386	1,50	0,42	26,5
ЦА4М1	6700	380—386	1,61	0,76	26,5
ЦА4М3	6800	379—389	1,56	0,38	29,5

доля), обладающие повышенной прочностью;

Zn—Al—Cu (ZnAlCu1, ЦА4М1о, ЦА4М1, ЦА4М1в) находят ограниченное применение из-за низких механических свойств.

Химический состав цинковых литейных сплавов (табл. 55) соответствует ГОСТ 25140—82, антифрикционных сплавов (табл. 56) — ГОСТ 21437—75, цинковых литейных сплавов в чушках (табл. 57) — ГОСТ 19424—74, цинковых антифрикционных сплавов в чушках (табл. 58) — ГОСТ 21438—75.

Сплавы цинковые литейные в чушках предназначены для переплавки в сплавы по ГОСТ 25140—82, производства отливок, а также цинковых сплавов, поставляемых на экспорт.

Цинковые литейные сплавы склонны к уменьшению размеров отливок при естественном старении. Медленное охлаждение отливок при 270 °С вызывает в α-фазе эвтектоидный распад: $\alpha \rightarrow \alpha_1 + \beta$. В результате этого распада изменяются механические свойства сплава и уменьшаются литейные размеры отливок примерно на 0,8 % (⅔ усадки происходит за 4—5 недель после литья, остальная усадка — в течение нескольких лет).

Для стабилизации размеров отливок и ускорения процесса их старения рекомендуется низкотемпературный отжиг при 85—100 °С в течение 3—10 ч.

Добавки алюминия, меди и магния повышают прочность и жидкотекучесть сплавов, а также способствуют стабилизации размеров и свойств отливок.

Физические и механические свойства цинковых сплавов приведены соответственно в табл. 59—61.

Литейные цинковые сплавы обладают хорошей жидкотекучестью, что позволяет получать из них отливки сложной формы и тонких сечений. Тройные и четверные цинковые сплавы хорошо противостоят ударным нагрузкам при повышенных температурах. Наличие в цинковых сплавах более 0,005 % (мас. доля) Cd и Sn и 0,007 % (мас. доля) Pb уменьшает их коррозионную стойкость. Цинковые сплавы хорошо обрабатываются резанием; их можно сваривать и паять, но получаемые соединения малопрочны.

Антифрикционные сплавы являются узкоинтервальными (15—20 °С). Из них получают довольно плотные отливки с линейной усадкой 1,0—1,2 %. Сплавы склонны к образованию горячих

60. Механические свойства цинковых литейных сплавов

Марка сплава	Способ литья	Временное сопротивление, МПа (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость НВ
ZnAl4A	К	196	1,2	70
ЦА4о,ЦА4	Д	256	1,8	70
ZnAl4Cu1A	К	215	1,0	80
ЦА4М1	Д	270	1,7	80
ЦА4М1о	Д	300	2,5	75
ЦА4М1в	К, Д	196	0,5	65
ZnAl4Cu3A	П	215	1,0	85
ЦА4М3о	К	235	1,0	90
ЦА4М3	Д	290	0,5	90

61. Механические свойства антифрикционных цинковых сплавов

Марка сплава	Литейные сплавы			Марка сплава	Сплавы, обработанные давлением		
	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ		$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
	не менее				не менее		
ЦАМ 9—1,5Л	245	1,0	95	ЦАМ 9—1,5	294	10,0	85
ЦАМ 10—5Л	245	0,4	100	ЦАМ 10—5	343	4,0	90

62. Технологические свойства цинковых сплавов

Свойство	Литейные цинковые сплавы			Цинковые антифрикционные сплавы	
	ЦА4	ЦА4М1	ЦА4М3	ЦАМ 9—1,5Л	ЦАМ 10—5Л
Температура, °С:					
плавления	390	395	410	390	395
литья	500	500	500	—	—
Температурный интервал литья под давлением, °С	393—427	393—427	—	—	—
Линейная усадка, %	1,2	1,2	1,0	1,5	1,0
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,063	0,065	0,068	—	—

63. Рекомендации по применению цинковых литейных сплавов

Марка сплава	Характерные свойства	Область применения
ZnAl4A	Хорошая жидкотекучесть, повышенная коррозионная стойкость, стабильность размеров	В автомобильной, тракторной, электротехнической и других отраслях промышленности для литья деталей приборов со стабильными размерами
ЦА4о	Хорошие жидкотекучесть и коррозионная стойкость; стабильность размеров	
ЦА4	То же, что и у марки ЦА4о, но меньшая коррозионная стойкость	

Продолжение табл. 63

Марка сплава	Характерные свойства	Область применения
ZnAl4Cu1A	Хорошая жидкотекучесть, повышенная коррозионная стойкость, стабильность размеров при естественном старении	В автомобильной, тракторной, электротехнической и других отраслях промышленности для литья корпусных, арматурных и декоративных деталей, не требующих повышенной точности
ЦА4М1о	Хорошие жидкотекучесть и коррозионная стойкость, стабильность размеров при естественном старении	
ЦА4М1	То же, что и у марки ЦА4М1о, но с меньшей стабильностью размеров	
ЦА4М1в	По технологическим и эксплуатационным свойствам уступает предыдущим маркам сплавов этой группы	В различных отраслях промышленности для литья неответственных деталей
ZnAl4Cu3A	Хорошая жидкотекучесть, высокая прочность, хорошая коррозионная стойкость, изменяемость размеров до 0,5 %	В автомобильной и других отраслях промышленности для изготовления деталей повышенной прочности
ЦА4М3о	Хорошая жидкотекучесть, высокая прочность, хорошая коррозионная стойкость, изменяемость размеров до 0,5 %	
ЦА4М3	Как для марки ЦА4М3о, но пониженная коррозионная стойкость	

64. Область применения цинковых литейных сплавов в чушках

Марка сплава	Область применения
ZnAl4A	Детали для автомобильной, электротехнической и машиностроительной промышленности
ЦА4о	Литье под давлением ответственных деталей с устойчивыми размерами
ЦА4	Литье под давлением неответственных деталей с устойчивыми размерами
ZnAl4Cu1A	Детали для автомобильной, электротехнической и машиностроительной промышленности
ЦАМ4—1о	Литье под давлением особо ответственных отливок
ЦАМ4—1	Литье под давлением ответственных деталей
ZnAl4Cu3A	Детали для автомобильной, электротехнической и машиностроительной промышленности
ZnAl4Cu3	

Продолжение табл. 64

Марка сплава	Область применения
ЦАМ4—3	Литье под давлением деталей автомобиля
ЦАМ4—1в	Литье под давлением неответственных деталей (сувениров, ширпотреба)

Примечание. Маркировка чушек из сплавов: ЦАМ4—1о — одной черной полосой; ЦАМ4—1в — одной черной полосой и одной красной; ЦАМ4—1 — одной зеленой; ЦА4 — двумя красными; ЦА4о — одной красной.

65. Область применения цинковых антифрикционных сплавов

Марка сплава	Условия работы изделий			Область применения
	Давление, МПа	Скорость скольжения, м/с	Рабочая температура, °С	
ЦАМ 9—1,5Л	9,8	8	80	Для отливки монометаллических вкладышей, втулок, ползунов и т. д.
	19,6	10	100	Для получения биметаллических изделий с металлическим каркасом методом литья
ЦАМ 10—5Л	9,8	8	80	Для отливки подшипников и втулок различных агрегатов
ЦАМ 9—1,5	24,5	15	100	Для получения биметаллической ленты со сталью и дюралюминием методом прокатки с последующей штамповкой вкладышей
ЦАМ 10—5	19,6	8	80	Для получения прокатных полос для направляющих скольжения металлорежущих станков и других изделий

трещин и большой зоны столбчатых кристаллов. В тройных сплавах магний повышает прочность и тормозит процесс старения, а железо, свинец и кадмий являются вредными примесями, так как снижают пластичность сплавов.

Технологические свойства цинковых сплавов приведены в табл. 62.

Рекомендации по применению цинковых литейных сплавов даны в табл. 63; цинковых литейных сплавов в чушках — в табл. 64, антифрикционных цинковых сплавов — в табл. 65.

Цинковые сплавы используют для литья небольших корпусных деталей, декоративных деталей и деталей различного назначения в бытовых машинах.

При литье цинковых сплавов под давлением получают отливки с точными размерами, не требующие дальнейшей обработки резанием, в том числе и резьбы.

Цинковые сплавы нельзя исполь-

вовать при повышенных температурах, так как уже при 110 °С их предел прочности снижается на 30 %, а твердость — на 40 %. Ниже 0 °С сплавы становятся хрупкими.

Цинковые антифрикционные сплавы склонны к заеданию в паре со сталью, что ограничивает их применение при малых давлениях. Цинковые сплавы являются заменителями оловянных бронз и малооловянных баббитов в узлах трения, работающих при давлениях на подшипники не более 19,6 МПа и окружной скорости до 30 м/с.

8. Легкоплавкие сплавы на основе олова, свинца, сурьмы, кадмия и висмута

Легкоплавкие сплавы можно подразделить на антифрикционные (баббиты), припои, типографские.

Сплавы на основе олова и свинца — баббиты (табл. 66—68) — применяют главным образом как антифрикционные (ГОСТ 1320—74) для заливки подшипников и других деталей, медицинских, химических и физических приборов, деталей, обладающих высокой коррозионной стойкостью и стабильностью размеров. Поставляются сплавы в виде чушек массой не более 22 кг.

Химический состав и область применения кальциевых баббитов (табл. 69) должны соответствовать ГОСТ 1209—78.

Сплавы свинцово-сурьмянистые (табл. 70 и 71), предназначенные для производства оболочек кабелей, аккумуляторов и изделий общего назначения, должны соответствовать требованиям ГОСТ 1392—81.

Сплавы системы Bi—Cd—Pb—Sn (табл. 72) находят широкое применение при изготовлении предохранителей в электропромышленности, сприн-

66. Химический состав [% (мас. доля)] оловянных и свинцовых баббитов (по ГОСТ 1320—74)

Марка баббита	Основные элементы				
	Sn	Sb	Cu	Cd	Ni
Б88	Остальное	7,3—7,8	2,5—3,5	0,8—1,2	0,15—0,25
Б83	»	10,0—12,0	5,5—6,5	—	—
Б83С	»	9,0—11,0	5,0—6,0	—	—
БН	15,0—17,0	1,50—17,0	1,5—2,0	—	—
Б16	9,0—11,0	13,0—15,0	1,5—2,0	0,1—0,7	0,1—0,5
БС6	5,5—6,5	5,5—6,5	0,1—0,3	—	—

Марка баббита	Примеси, не более							
	As	Pb	Fe	As	Zn	Pb	Bi	Al
Б88	—	—	0,05	0,05	0,005	0,1	0,05	0,005
Б83	—	—	0,10	0,05	0,004	0,35	0,05	0,005
Б83С	—	1,0—1,5	0,10	0,1	0,010	—	0,05	0,005
БН	—	Остальное	0,10	0,30	0,15	—	0,10	0,010
Б16	0,5—0,9	»	0,10	—	0,020	—	0,10	0,05
БС6	—	»	0,10	0,05	0,010	Cd 0,05	0,07	0,005

67. Физико-механические свойства оловянных и свинцовых баббитов

Марка баббита	Плотность, кг/м³	НВ	$\sigma_в$, МПа	σ_w, МПа	Температура, °С: начала расплавления	плавления	заливки
Б88	7,35	265—294	—	—	—	320	380—420
Б83	7,38	265—294	107,9—117,7	78,5—83,4	240	370	440—460
Б83С	7,4	265—294	107,9—117,7	67,8—83,4	230	400	440—460
БН	9,55	265—284	122,6—127,5	68,7—72,6	240	400	480—500
Б16	9,29	294	144,2	84,4	240	410	480—500
БС6	10,5	147—167	—	—	247	280	—

клерных установок, предохранительных пробок для паровых котлов и в качестве припоев.

Для литья под давлением используют оловянные и свинцовые сплавы (табл. 73).

68. Условие применения баббитов и область их применения

Марка баббита	Характеристика нагрузки	Давление p, МПа	Окружная скорость v, м/с	Рабочая температура, °С	Область применения
Б88	Спокойная	19,6	50	75	При больших скоростях и высоких динамических нагрузках (высоко- и среднеоборотные дизели; нижние половины крейцкопфных подшипников малооборотных дизелей)
	Ударная	14,7			
В83	Спокойная	14,7			При больших скоростях и средних нагрузках (подшипники турбин, крейцкопфные, мотылевые и крановые подшипники малооборотных дизелей, опорные подшипники гребных валов)
	Ударная	9,8			
В83С	Спокойная	14,7			
	Ударная	9,8			
БН	Спокойная	9,8	—	70	При средних скоростях и средних нагрузках (подшипники дизелей, компрессоров, судовых водопроводов)
	Ударная	7,4			
Б16	Спокойная	9,8	30		Моторно-осевые подшипники электровозов, путевых машин, детали паровозов и другого оборудования тяжелого машиностроения
БС6	Ударная	14,7	—		Автотранспортные двигатели

69. Химический состав [% (мас. доля)] и область применения кальциевых баббитов (по ГОСТ 1209—78)

Марка баббита	Легирующие элементы (Pb—основа)					Примеси, не более				Область применения
	Ca	Na	Mg	Sn	Al	Bi	Sb	Cu	Al	
БКА	0,95—1,15	0,70—0,90	—	—	0,05—0,20	0,10	0,25	—	—	Заливка буксовых подшипников трения для вагонов и тендеров железных дорог
БК2	0,30—0,55	0,20—0,40	0,01—0,05	1,5—2,0	—	0,20	0,20	0,15	0,02	Заливка вкладышей коренных и шатунных подшипников дизелей и газовых двигателей по ГОСТ 9340—80
БК2Ш	0,65—0,90	0,70—0,90	0,03—0,09	1,5—2,0	—	0,20	0,20	0,15	0,02	Подшихтовка сплавов при заливке вкладышей коренных и шатунных подшипников дизелей и газовых двигателей по ГОСТ 9340—80

Примечания: 1. Кальциевые баббиты поставляются в чушках с тремя поперечными перехватами; масса чушек 24—28 кг.

2. В баббите БКА не должно содержаться более 0,2 % (мас. доля) Mg.

3. Содержание прочих примесей в баббитах всех марок не превышает 0,3 % (мас. доля).

70. Химический состав [% (мас. доля)] свинцово-сурьмянистых сплавов (по ГОСТ 1292—81)

Марка сплава	Легирующие элементы (Pb—основа)				Суммарное содержание определяемых примесей
	Sb	Cu	Sn	As	
ССуМоЕ	0,15—0,30	0,02—0,05	0,35—0,5	Te до 0,005	0,10
ССуМТ	0,3—0,45	0,02—0,05	Te до 0,05	—	0,10
ССу	0,4—0,6	—	—	—	0,10
ССуМ	0,4—0,60	0,02—0,05	—	—	0,10
ССуМ2	0,6—0,8	0,02—0,05	—	0,2—0,6	0,10
ССу2	2,0—3,5	—	—	0,15—0,3	0,10
УСМ	3,0—4,0	—	—	—	0,10
УС	5,0—6,0	—	—	—	0,15
ССу1	3,8—6,0	—	—	—	0,15
ССуА	2,0—7,0	—	—	—	0,30
ССу3	До 7,0	—	—	—	0,4
ССу8	7,0—8,5	—	—	—	0,10
ССу10	9,0—12,0	—	—	—	0,10

71. Область применения свинцово-сурьмянистых сплавов в чушках

Марка сплава	Область применения
ССуМоЕ, ССуМТ, ССу, ССуМ, ССуМ2	Оболочки кабелей, облицовка химических сооружений, профили
ССу2	Трубы, дроби, типографские и другие сплавы, облицовка химических сооружений
УСМ	Облицовка химической аппаратуры, дробь, аккумуляторы
УС, ССу1, ССуА, ССу3, ССу8	Аккумуляторы, коррозионно-стойкая аппаратура в химической промышленности, производство сплавов и анодов ванн хромирования
ССу10	Коррозионно-стойкая аппаратура, фасонные отливки

Примечание. Маркировка чушек из сплавов: ССу — одной синей полосой; ССуМ — одной белой; ССуМ2 — двумя синими; ССуМТ — одной черной; ССуМоЕ — одной красной.

72. Химический состав [% (мас. доля)] и температура плавления сплавов Bi—Cd—Pb—Sn

Основные элементы				Температура плавления, °С
Bi	Cd	Pb	Sn	
50	12,5	25	12,5	68
50,1	10	26,6	13,3	68
49,5	10,1	27,7	13,3	70
38,4	15,4	30,8	15,4	71
27,5	34,5	27,5	10,5	75
35,3	9,5	35,1	20,1	80
50	7,1	42,9	—	82
50	—	30	20	92
50	—	25	25	93
55,6	11,1	—	33,3	95
47	—	35,3	17,7	98
40	—	20	40	100
50	—	12,5	37,5	100
48	9	28,5	14,5	105
42,1	—	42,1	15,8	108
36,5	—	36,5	27	117
55,5	—	44,5	—	124
22,2	—	44,5	33,3	127
—	18,2	30,6	51,2	142
60	40	—	—	144
—	32	—	68	177
23,5	—	47	29,5	152
16	—	36	48	155
11,7	—	46,8	41,5	167
12,5	—	50	37,5	178
—	—	38	62	183

73. Химический состав [% (мас. доля)] и свойства оловянных и свинцовых сплавов для литья под давлением

Номер сплава	Основные элементы			
	Sn	Pb	Sb	Cu
1	50—61	24—27	9,5—11,5	2,25—3,75
2	64—66	17—19	14—16	1,5—2,5
3	80—84	До 0,35	12—14	4—6
4	85—87	» 0,35	6—7,5	5—6,5
5	89—91	» 0,35	4—5	4—5
6	4,5—5,5	85—87	9,25—10,75	0,4—0,6
7	—	89—91	9,25—10,75	0,4—0,6

Номер сплава	Примеси, не более			Плотность, кг/м³	$\sigma_в$, МПа	δ, %	Твердость НВ
	As	Bi	Fe				
1	0,08	0,05—0,10	0,08	10 000	55	1,25	270—300
2	0,15	—					
3	0,08	—			71	1,0	290—330
4	0,10	0,05—0,10					
5	0,10	0,05—0,10			63	2,0	250—300
6	0,15—0,25	—	—	10 500	97	10,5	250
7	0,15—0,25	—	—		54	15,0	150

Примечания: 1. Примесь свинца ухудшает коррозионную стойкость оловянных сплавов в органических кислотах.

2. Органические кислоты образуют со свинцом ядовитые соединения, поэтому свинцовые сплавы не применяют для изготовления деталей, соприкасающихся с пищевыми продуктами.

3. Содержание Zn и Al не должно превышать 0,01 % (мас. доля) каждого из этих элементов.

Глава V
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

1. Разовые формы и стержни

Материалы, применяемые при изготовлении форм и стержней, называют *формовочными*.

Формовочные и стержневые смеси приготовляют из химически инертных по отношению к сплавам формовочных материалов и из отработанных смесей (т. е. бывших в употреблении).

Формовочные материалы делят на две группы: основные (пески, глины, связующие) и вспомогательные, придающие формовочной или стержневой смеси определенные свойства (мазут, уголь и т. д.).

Формовочные пески состоят из зерен кварца и глинистой составляющей (ГОСТ 2138—84), количество которой не должно превышать 50 %. Основу формовочного песка составляет кварц (SiO_2) с температурой плавления 1713 °С и плотностью 2500—2800 кг/м^3. Формовочные пески поставляют в естественном и обогащенном состояниях. В зависимости от содержания глинистой составляющей и вредных примесей пески подразделяют на классы (табл. 1); в зависимости от размера зерен песчаной основы (кварца) — на группы (табл. 2).

Кроме того, в зависимости от величины остатков основной фракции на крайних ситах (верхнем и нижнем) формовочные пески делятся на категории А и Б. К категории А относятся пески с остатком на крайнем верхнем сите бóльшим, чем на крайнем нижнем; к категории Б — с остатком на крайнем нижнем сите бóльшим, чем на крайнем верхнем. По форме зерен формовочные пески делятся на округлые, полукруглые и остроугольные.

Обогащенные кварцевые пески получают водной обработкой песков при добыче, проводимой с целью уменьшения содержания глинистой составляющей.

Необогащенные, природные кварцевые пески имеют сосредоточенную зерновую структуру, если на трех смежных ситах остается не менее 70 % массы зерен, и рассредоточенную зерновую структуру, если на трех смежных ситах остается не менее 60 % массы зерен. Формовочные пески, обогащенные и необогащенные, имеют несосредоточенную структуру.

Основные свойства формовочных песков приведены в табл. 3.

Формовочные глины используют в качестве минерального связующего материала при изготовлении форм и стержней. Классификация глин в соответствии с ГОСТ 3226—77 приведена в табл. 4—7.

В табл. 8 приведены свойства формовочных глин, их значение и методы определения.

Формовочные и стержневые смеси. Состав смесей зависит от способа формовки, марки сплава, массы и конфигурации отливки и т. д. В табл. 9 приведена классификация смесей, применяемых для изготовления форм и стержней [3].

Используя приведенную классификацию, выбирают те из смесей, которые обеспечат необходимое сочетание свойств форм и стержней, т. е. достаточную газопроницаемость, минимальную газотворную способность, огнеупорность, достаточную прочность, легкую выбиваемость, малую склонность к объемным изменениям при нагреве, долговечность, низкую стоимость и т. д.

Песчано-глинистые смеси подразделяют на единые (предназначенные для заполнения всего объема опоки с мо-

1. Классификация формовочных песков в зависимости от содержания глины и вредных примесей (по ГОСТ 2138—84)

Наименование песка	Класс	Содержание, % (мас. доля)			
		глины	кремнезема	вредных примесей (не более)	
				окислов щелочно-земельных и щелочных металлов	окислов железа
Обогащенный кварцевый	Об1К	До 0,2	Св. 98,5	0,40	0,20
	Об2К	» 0,5	» 98,0	0,75	0,40
	Об3К	» 1,0	» 97,5	1,00	0,60
Природный (необогащенный) кварцевый	1К	До 2,0	Св. 97,0	1,20	0,75
	2К		» 96,0	1,50	1,00
	3К		» 94,0	2,0	1,50
	4К		» 90,0	—	—
Тощий	Т	Св. 2,0 до 10,0	—	—	—
Полужирный	П	» 10,0 » 20,0	—	—	—
Жирный	Ж	» 20,0 » 30,0	—	—	—
Очень жирный	ОЖ	» 30,0 » 50,0	—	—	—

Примечания: 1. К глинистым составляющим относятся частицы размером менее 0,022 мм.
2. Об — обогащенный.

2. Классификация формовочных песков в зависимости от размера основной фракции (по ГОСТ 2138—84)

Зернистость	Наименование песка	Номера смежных сит, на которых остаются зерна основной фракции
063	Грубый	1; 063; 04
04	Очень крупный	063; 04; 0315
0315	Крупный	04; 0315; 02
02	Средний	0315; 02; 016
016	Мелкий	02; 016; 01
01	Очень мелкий	016; 01; 0063
0063	Тонкий	01; 0063; 005
005	Пылевидный	0063; 005; поддон

Примечания: 1. Размер зерна определяется размером сторон ячейки сита, на котором остается зерно после прохождения его через предшествующее сито.

2. Основной фракцией песка считается наибольшая сумма остатков на трех смежных ситах.

3. Группа песка обозначается номером среднего сита основной фракции.

4. Обозначение марки песка состоит из обозначения классов, группы и в отдельных случаях категории. Например, песок с сосредоточенной зерновой структурой, кварцевый, 2-го класса, категории А будет иметь обозначение 2К063А, а песок с рассредоточенной зерновой структурой, кварцевый, 1-го класса, средний, категории А — 1КРСА.

3. Свойства формовочных песков, методы их определения, влияние свойств песков на качество формовочных и стержневых смесей

Свойство формовочного песка	Метод определения	Влияние свойства песка на качество формовочных и стержневых смесей
Влажность	Состоит в определении потери массы навески песка после высушивания при температуре 105—110 °С до постоянной массы. Первоначальная масса навески 50 г. Высушивают навеску в сушильном шкафу, а при ускоренном методе — под лучами нагревательной лампы или продувкой нагретым воздухом	Большая влажность песка повышает трудоемкость погрузочных работ при минусовых температурах, усложняет транспортирование и дозирование песка. Для стержневых смесей, особенно на синтетических связующих, влажность песка должна быть минимальной (0,3—0,5%)
Содержание глинистых составляющих	Состоит в определении потери массы навески (первоначальная масса 50 г) отмучиванием на приборе для взбалтывания. При ускоренном методе используют прибор для отмывки в проточной воде. К предварительно высушенной навеске песка добавляют 475 мл воды и 25 мл водного раствора NaOH (10 г NaOH на 100 мл дистиллированной воды), взбалтывают в течение 1 ч и добавляют воду до метки 150 мм. Затем осадок энергично взмучивают палочкой, дают отстояться в течение 10 мин, после этого воду сливают сифоном до уровня 12—13 мм от верхней кромки осадка. Процесс повторяют до тех пор, пока вода не будет совершенно прозрачной после отстаивания в течение 5 мин. Получившийся остаток высушивают до постоянной массы при температуре 105—110 °С. Потеря массы навески показывает содержание глинистой составляющей в песке	Увеличение глинистой составляющей повышает прочностные характеристики песка, снижает его газопроницаемость и огнеупорность. Для приготовления стержневых смесей, особенно на синтетических связующих, содержание глинистой составляющей должно быть минимальным (0,1—0,5 %). В формовочных смесях, приготовленных с использованием в качестве связующего бентонитовой глины, содержание глинистой составляющей в песке должно находиться в пределах 1—2 %
Зерновой состав	Состоит в определении преобладающего количества зерен на каждом из трех смежных сит, оставшегося после рассеивания обезглиненной навески песка в течение 15 мин на приборе вращательно-встряхивающего или вибрационного действия с набором стандартных сит, характеризует основную фракцию (зерновой состав)	С увеличением зернистости песка снижается его удельная поверхность и повышается газопроницаемость. Зерновой состав определяет марку песка. Выбор марки песка зависит от размеров и толщины стенок отливок: для крупных отливок используют марку 0315, средних — марку 02 и мелких — марки 016 и 01

Продолжение табл. 3

Свойство формовочного песка	Метод определения	Влияние свойства песка на качество формовочных и стержневых смесей
Зерновой состав	Номер сита . . . . . 2,5 1,6 1 063 04 0315 02 016 Размер ячейки, мм . . 2,5 1,6 1,0 0,63 0,4 0,315 0,2 0,16 Номер сита . . . . . 01 0063 005 Размер ячейки, мм . . 0,1 0,063 0,05	
Форма зерен	Состоит в просмотре под микроскопом или бинокулярной лупой в проходящем свете при 15-кратном увеличении зерен песка и установлении, какую форму (округлую, полуокруглую, остроугольную) имеет наибольшее количество зерен	Влияет на удельную поверхность песка и на уплотняемость смесей (уплотняемость смеси из песка с зернами округлой формы выше, чем смеси из песка с зернами остроугольной формы)
Газопроницаемость	Состоит в пропускании воздуха через стандартный образец при естественной влажности и дальнейшем вычислении газопроницаемости по формуле $Гп = Wh/(Sp\tau)$, где W — объем воздуха, прошедшего через образец, м³; h — высота образца, м; S — площадь поперечного сечения образца, м²; p — давление воздуха перед образцом, Па; τ — время прохождения сквозь образец воздуха объемом W, с. Образец диаметром (50±0,2) мм и высотой (50±±0,8) мм изготовляют в неразъемной гильзе трехкратным ударом груза массой (6,35±±0,015) кг, падающего с высоты (50±0,25) мм. Газопроницаемость сырого образца определяют в неразъемной гильзе на специальном приборе	Газопроницаемость формовочных песков определяет газопроницаемость форм и стержней. Низкая газопроницаемость форм и особенно стержней обусловливает брак отливок по вскипу и газовым раковинам. Газопроницаемость песков тем больше, чем крупнее зерно и чем ниже содержание глинистой составляющей. Пески с рассредоточенной зерновой структурой и округлой формой зерен имеют при прочих равных условиях меньшую газопроницаемость, чем пески с сосредоточенной зерновой структурой и остроугольной формой зерен
Предел прочности при сжатии в сыром состоянии	Определяют на образцах, изготовляемых, как и при испытании на газопроницаемость, в неразъемной гильзе. Образец разрушают со скоростью приложения нагрузки не более 150 кПа/мин. $\sigma_{сж}$ определяют при естественной и оптимальной влажности	Значение $\sigma_{сж}$ определяют только у песков классов П, Ж и ОЖ. Эти пески используют в качестве освежающей добавки к формовочным смесям взамен добавки глины. Величина $\sigma_{сж}$ зависит от количества глинистой составляющей и минералогического состава песка. Для указанных классов песков желателен высокий предел прочности

Продолжение табл. 3

Свойство формовочного песка	Метод определения	Влияние свойства песка на качество формовочных и стержневых смесей
Концентрация водородных ионов (pH) водной вытяжки	Определяют на любом приборе с точностью ±0,3 единицы измерения. Навеску песка 15—20 г помещают в стаканчик и заливают 60—80 мл дистиллированной воды. После взбалтывания в течение 10 мин в стаканчик с раствором опускают электроды прибора и определяют pH по инструкции, прилагаемой к прибору	Влияет на взаимодействие формовочных и стержневых смесей с жидким металлом и образование пригара. Особенно большое влияние pH песка оказывает на процесс изготовления форм и стержней, отверждаемых в оснастке. Так, при изготовлении стержней в горячих ящиках низкое значение pH песка приводит к резкому снижению общей и поверхностной прочностей стержней, т. е. к увеличению осыпаемости и уменьшению живучести смеси. Поэтому необходим тщательный подбор смолы, катализатора и песка, обеспечивающих нужное значение pH
Огнеупорность	Определяют сравнением температуры падения пироскопов, изготовляемых из испытуемого и стандартных материалов, или оплавлением зерен песка от разогретой электрическим током платиновой пластинки на синтерометре Дитерта. Огнеупорность песка определяют температурой пластинки, при которой начинается оплавление и прилипание песка к пластинке	Является одной из важных характеристик формовочных песков, так как влияет на качество поверхности отливок, на выбиваемость форм и стержней и ряд других показателей. Огнеупорность формовочных песков зависит от их минералогического состава и наличия примесей. Так, примеси в виде плавней, щелочных и щелочно-земельных окислов снижают огнеупорность песков
Минералогический состав песка	Определяют отдельно для песчаной основы и для глинистой составляющей. Тяжелые и легкие минералы песчаной основы исследуют отдельно под микроскопом. Минералогический состав глинистой составляющей определяют оптическим, термическим или рентгенографическим методом	Позволяет определять качество формовочного песка и дает возможность установить количество и природу примесей, которые определяют огнеупорность, а также меру активности песков по отношению к металлу при высоких температурах

Продолжение табл. 3

Свойство формовочного песка	Метод определения	Влияние свойства песка на качество формовочных и стержневых смесей
Химический состав	Определяют содержание в песке SiO, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, $CaCO_3$, $MgCO_3$ и других составляющих. Обычно к химическому анализу относят и испытания на потерю массы при прокаливании. Ускоренным методом определяют наличие в песке карбонатов по интенсивности выделения пузырьков при воздействии на смоченную дистиллированной водой навеску песка соляной кислотой	По содержанию SiO_2 определяют класс песка и его огнеупорность. Остальные составляющие, как правило, имеют $t_{пл}$ ниже, чем кремнезем, и увеличение их содержания в песке снижает его огнеупорность. Карбонаты кроме снижения огнеупорности способствуют образованию различных дефектов в отливках, так как они при нагревании до 500—900 °С разлагаются с выделением газообразных продуктов

4. Классификация глин по минеральному составу

Вид глины	Наименование вида глины	Основной породообразующий минерал
Б	Бентонитовая	Монтмориллонит
К	Каолиновая и каолино-гидрослюдистая	Каолинит и каолинит с гидрослюдой
П	Полиминеральная	Любой глинистый минерал

5. Классификация глин по пределу прочности при сжатии стандартных образцов во влажном и сухом состояниях

Группа глины	Наименование группы	Предел прочности при сжатии образца во влажном состоянии, 10^5 Па	Номер подгруппы	Предел прочности при сжатии образца в сухом состоянии, 10^5 Па
П	Прочносвязующая	1,1—1,3	1	4,5—5,5
С	Среднесвязующая	0,8—1,1	2	3,0—3,5
М	Малосвязующая	0,5—0,9	3	2,0—3,0

6. Классификация глин по термической устойчивости

Группа по содержанию вредных примесей	Наименование группы	Термическая устойчивость	Содержание примесей, % (мас. доля)		
			Fe_2O_3	Na_2O+ + K_2O	CaO+ +MgO
T_1	С низким содержанием серы	Высокая	2,5	1,5	2
T_2	Со средним содержанием серы	Средняя	4,5	3,0	3
T_3	С высоким содержанием серы	Низкая	8	5	8

Примечание. Массовая доля сульфидной серы не более 0,2 %.

7. Классификация глин по пластичности

Группа по значению числа пластичности	Число пластичности	Группа по значению числа пластичности	Число пластичности
Высокопластичная	30	Умереннопластичная	10
Среднепластичная	20	Малопластичная	Не нормируется

Примечание. Число пластичности определяют как разность между влажностью, соответствующей нижней границе текучести, и влажностью, соответствующей пределу раскатывания.

8. Свойства формовочных глин, методы их определения, влияние свойств глин на качество формовочных и стержневых материалов

Свойство глины	Метод определения	Влияние свойства глины на качество формовочных и стержневых смесей
Влажность	Определяют потерю массы навески глины после высушивания в сушильном шкафу при температуре 102—110 °С до постоянной массы навески [первоначальная масса навески (20 ± 0,01) г]	Большое содержание влаги приводит к комкованию глины и затрудняет ее подачу и дозирование. Очень низкая влажность сопряжена с техническими трудностями при сушке перед размолом. Если влажность порошкообразной глины ниже 6 %, то ее связующая способность и долговечность понижаются вследствие пережога при сушке (потеря кристаллизационной воды и распад кристаллической решетки). Для глин, поставляемых в порошкообразном виде, влажность равна 6—12 %
Связующая способность	Определяют по $\sigma_{сж}$ влажных и высушенных образцов. Смесь для влажных образцов содержит, г: сухого песка марки К02А или К02Б 180; воздушносухой и размолотой глины 200; воды — до оптимальной влажности. Сухие составляющие смеси перемешивают 2 мин и после добавления воды — 8 мин. Для определения $\sigma_{сж}$ высушенного образца используют смесь, содержащую, г: песка К02А или К02Б 1900; сухой глины 100, воды — до оптимальной влажности. Сушат образцы при температуре 150—200 °С в течение 1,5 ч	Связующая способность — важнейшее свойство, характеризующее качество глин. С ее повышением уменьшается количество глины, которое необходимо ввести в состав формовочной смеси, повышаются ее газопроницаемость и огнеупорность и в большинстве случаев снижается влажность, что уменьшает ее прилипаемость и улучшает формуемость. Однако при изготовлении форм по-сырому глина должна обладать умеренной прочностью в сухом состоянии, так как в противном случае затрудняются выбивка и подготовка отработанной смеси

Продолжение табл. 8

Свойство глины	Метод определения	Влияние свойства глины на качество формовочных и стержневых смесей
Пластичность	Определяют как разность между значениями влажности, соответствующими нижней границе текучести и пределу раскатывания	Пластичные глины в составах формовочных смесей обеспечивают четкий отпечаток модели и уменьшают осыпаемость форм
Зерновой состав	Определяют методом отмучивания для глинистой составляющей и рассевом на стандартных ситах для песчаной составляющей. Кроме того, проверяют дисперсность глинистой составляющей — устанавливают содержание частиц размером 0,005—0,001 мм и менее 0,001 мм. Метод основан на определении скорости погружения частиц в воде, которая зависит от размера частиц и температуры воды. Дисперсность определяют отбором проб из водноглинистой суспензии через определенные промежутки времени в соответствии с табличными данными	Зерновой состав глин разнообразен, так как содержит свыше 50 % глинистой составляющей (частиц размером не менее 0,022 мм). Зерновой состав влияет на связующую способность глин, пластичность и другие свойства. Технические требования к глине по зерновому составу устанавливают в зависимости от вида глины, ее назначения и условий применения
Коллоидальность	Определяется отношением (%) высоты осадка глины к общей высоте водноглинистой суспензии после отстаивания ее в течение 24 ч. Для испытания в пробирку высотой около 150 и диаметром 15 мм насыпают 1 г воздушно-сухой и размолотой глины и доливают 15 мл дистиллированной воды. После этого содержимое тщательно взбалтывают и добавляют 0,1 г MgO, снова взбалтывают в течение 1 мин и оставляют в покое на 24 ч. После этого замеряют высоту осадка	От коллоидальности зависит распределение глинистой составляющей в формовочной смеси и, следовательно, прочность и пластичность формовочных смесей. Характеризует глины с точки зрения образования устойчивой водно-глинистой суспензии

Продолжение табл. 8

Свойство глины	Метод определения	Влияние свойства глины на качество формовочных и стержневых смесей
Состав обменных катионов	Определяют по ГОСТ 3594.2—77, ГОСТ 3594.3—77 специальными методами химического анализа и выражают в мг·экв на 100 г глины. К числу обменных катионов относят: K^+, Na^+, Mg^{++}, Ca^{++}	Чем выше сумма обменных катионов в глине, тем выше ее качество. При обмене одних катионов на другие меняются свойства глины. Например, при обработке кальциевого бентонита содой происходит замещение катионов Ca^{++} катионами Na^+ и бентонит из кальциевого становится натриевым
Минералогический состав	Определяют при дифференциальном термическом анализе, состоящем в сравнении дифференциальной термической кривой испытуемой глины с термическими кривыми изученных чистых минералов. По наличию экзотермических или эндотермических реакций приближенно устанавливают минералогический состав глины	Основными минералами являются каолинит, гидрослюды и монтмориллонит, которые определяют назначение глины. Лучшими считают бентонитовые глины, которые обеспечивают высокую связующую способность, пластичность и долговечность формовочных смесей. Менее качественными являются каолино-гидрослюдистые глины
Набухаемость	Определяется отношением поглощенной влаги к первоначальной массе глины. Испытание проводят на специальном приборе	Характеризует способность глины поглощать влагу. Зависит от строения кристаллической решетки глины и количества примесей. Набухаемость оказывает некоторое влияние на изменение размеров отпечатков форм, изготовляемых по-сухому, и на характеристики водно-глинистых суспензий
Концентрация водородных ионов (pH) водной вытяжки	Определяют так же, как и для песка. Масса навески 8—10 г, объем приливаемой в стаканчик дистиллированной воды 90 мл	С повышением pH прочность формовочной смеси в горячем состоянии возрастает. Простейший анализ по определению pH глины позволяет установить, из какого места разработки получена партия глины

Продолжение табл. 8

Свойство глины	Метод определения	Влияние свойства глины на качество формовочных и стержневых смесей
Огнеупорность	Определяют так же, как и песка. Для испытания на синтерометре Дитерта готовят стандартные образцы, состоящие из 50 % песка и 50 % испытуемой глины при оптимальной влажности. Уплотнение образцов осуществляют 30 ударами груза копра (по 15 ударов по каждому торцу). Перед испытанием образцы высушивают при медленном подъеме температуры до 110 °С	Огнеупорность формовочных глин зависит от наличия в ней примесей легкоплавких окислов. Сильно влияет на образование пригара на поверхности отливок и долговечность формовочных смесей
Химический состав глины	Анализ производят по ГОСТ 2642.1—81. При этом определяют содержание в глинах SiO_2; Al_2O_3; Fe_2O_3; CaO; MgO; Na_2O; K_2O; SO_3; CO_2, сульфатной серы и потери летучих веществ при прокаливании	Химический состав влияет на связующую способность глины, ее огнеупорность и др.

9. Классификация смесей по типу, виду и характеру твердения

Тип смеси	Вид смеси	Категория смеси (по характеру твердения форм и стержней)	Область применения
Песчано-глинистая	Пластичная	Нетвердеющая Теплового твердения	Средние и крупные формы и стержни
Песчано-жидкостекольная	Пластичная	Воздушного твердения Теплового твердения Химического твердения Самотвердеющая	Любые формы и стержни
	Жидкая	Теплового твердения Самотвердеющая	Крупные формы и стержни
Песчано-смоляная	Сыпучая	Теплового твердения	Оболочковые формы и стержни
	Пластичная		Мелкие стержни
		Самотвердеющая	Мелкие, средние и крупные стержни
	Жидкая	Теплового твердения	Средние стержни
		Самотвердеющая	

Продолжение табл. 9

Тип смеси	Вид смеси	Категория смеси (по характеру твердения форм и стержней)	Область применения
Песчано-сульфитная	Пластичная	Теплового твердения	Мелкие стержни
		Самотвердеющая	Средние формы
	Жидкая	Теплового твердения	
		Самотвердеющая	
Песчано-цементная	Пластичная и жидкая		Крупные формы и стержни
Песчано-масляная (стержневая)	Пластичная	Теплового твердения	Мелкие и средние стержни

делью), облицовочные (образуют прилегающий к модели облицовочный слой формы) и наполнительные (для заполнения оставшегося объема опоки после нанесения облицовочного слоя). По способу формовки различают смеси для формовки по-сырому и для формовки по-сухому.

Рекомендуемые составы смесей приведены в табл. 10.

Песчано-жидкостекольные смеси. В качестве связующего в эти смеси добавляют 4—7 % жидкого стекла, являющегося водным раствором силиката натрия. Получают жидкое стекло сплавлением либо кварцевого песка и соды, либо кварцевого песка, сульфата натрия и угля при 1400—1500 °С с последующим растворением в воде до плотности 1480—1500 кг/м³. Связующая способность жидкого стекла определяется его модулем M — отношением содержащихся в нем числа грамм-молекул SiO_2 к числу грамм-молекул Na_2O:

$$M = \frac{SiO_2}{Na_2O} 1{,}032.$$

В зависимости от модуля различают марки жидкого стекла: А, Б и В. Наиболее часто используют жидкое стекло марки В с модулем 2,61—3,0, содержащее 14,8—12,1 % SiO_2. От значения модуля зависит и живучесть смеси, в которую добавлено жидкое стекло. Чем больше значение модуля, тем меньше живучесть смеси. Поэтому при изготовлении крупных форм и стержней, требующем длительного времени, для увеличения живучести смесей значение модуля жидкого стекла искусственно снижают до 2,0—2,3 введением добавки едкого натра.

Упрочнение форм и стержней осуществляется как при выдержке на воздухе, так и химически при продувке их углекислым газом или введении в смесь добавки химического реагента (например, феррохромового шлака), вызывающего аналогично углекислому газу коагуляцию жидкого стекла. Типовые составы жидкостекольных смесей, используемых при изготовлении форм и стержней для цветного литья, приведены в табл. 11 [6].

Значительное улучшение выбиваемости смеси дает добавка в них пылеобразного эстонского горючего сланца, содержащего в среднем 46 % летучих веществ и до 10 % Al_2O_3 и MgO.

Химическое упрочнение форм и стержней может быть осуществлено введением в песчано-жидкостекольную смесь добавки феррохромового шлака. В этом случае твердение смеси является результатом взаимодействия жидкого стекла и двухкальциевого силиката с образованием кальциево-натриевых гидросиликатов, склеивающих отдельные зерна песка между собой. Такие смеси получили название *самотвердеющих*, а процесс изготовления форм и стержней с их применением — ПСС-процессом. Время отвердения форм

10. Типовые составы песчано-глинистых формовочных смесей

Назначение смеси	Способ формовки	Содержание, % (мас. доля)			Характеристика смеси				
		оборотной смеси	свежих материалов	прочих добавок	Зерновой состав (основной фракции)	Газопроницаемость, ед.	Влажность, %	Прочность образцов, 10^5 Па	
								сухих на разрыв	сырых на сжатие
Для отливок из алюминиевых сплавов:									
единая	По-сырому	92—90	8—10	—	016; 01; 0063	Св. 20	4,5—5,5	—	0,3—0,5
облицовочная	По-сырому	80—60	20—40				4—5		
	По-сухому		19,5—39	Сульфитно-спиртовая барда 0,5—1			5—6	0,7—12	0,4—0,6
Для отливок из медных сплавов:									
единая	По-сырому	92—88,5	7—10	Мазут 1—1,5	02; 016; 01	Св. 30	4,5—5,5	—	0,3—0,5
		80—40	18,5—59						
облицовочная	По-сухому	80—60	20—40	—			5,5—5,7	0,8—1,2	0,4—0,6
Для отливок из магниевых сплавов единая	По-сырому	90—85	10—15	Фтористая присадка 5,0—8,0	01; 0063	20—40	5,0—6,5	—	0,6—1,15
				Фтористая присадка 4,0—8,0		30—70	4,5—6,0		0,4—0,8
				КБЖ 1,0—3,0	02; 016; 04				

11. Типовые составы жидкостекольных смесей для получения отливок из цветных сплавов

Смесь	Содержание компонента смеси, % (мас. доля)						
	Кварцевый песок	Формовочная глина	Каменноугольная пыль	Древесные опилки	Жидкое стекло	Раствор едкого натра	Битум
					Св. 100 %		
Облицовочная	92—96	4—5	0—3	—	4—5	0,5—1,5	—
Стержневая	90—99	0—5	—	1—5	3—5	0,5—1,0	0—2

Смесь	Характеристика смеси			
	Влажность, %	Газопроницаемость, ед.	Прочность, 10^5 Па	
			на сжатие	на разрыв после продувки
Облицовочная	3—4	60	0,1—0,2	2,0
Стержневая	3,5—4,0	80	0,1—0,2	2,5

Примечание. Едкий натр добавляют в виде водного раствора плотностью 1300 кг/м³; битум — в виде раствора в уайт-спирите плотностью 800—920 кг/м³.

и стержней при использовании пластичных самотвердеющих смесей ПСС — около 40—60 мин, при этом прочность смеси на разрыв равна $(0{,}7 \div 1{,}3) \cdot 10^5$ Па, а по прошествии более длительного времени прочность повышается до $4{,}0 \cdot 10^5$ Па и более.

Для перевода смеси в жидкое состояние в ее состав вводят поверхностно-активные вещества (ПАВ) — пенообразователи. Такие смеси получили название жидких самотвердеющих, а процесс их применения при изготовлении форм и стержней — ЖСС-процессом. В качестве отвердителя в этих смесях также используется феррохромовый шлак.

Применение ПСС и ЖСС при производстве отливок из цветных сплавов ограниченно.

Песчано-цементные смеси (табл. 12) используют в качестве связующего материала. Для данного типа смесей используют 7—10 % (мас. доля) цемента. Состав и свойства смесей приведены в табл. 12.

Песчано-смоляные смеси. В эти смеси в качестве связующего материала вводят синтетические смолы: фурановые, фенолоформальдегидные, карбамидоформальдегидные и др. Песчано-смоляные смеси дороги, поэтому их применяют в основном для изготовления стержней и оболочковых форм.

Изготовляют сыпучие, пластичные и жидкие песчано-смоляные смеси. Сыпучую смесь упрочняют тепловой обработкой, обычно в два этапа; на первом этапе смесь контактирует в течение 20—30 с с модельной или стержневой оснасткой, нагретой до 180—240 °С; на втором этапе смесь обрабатывается в течение 3—4 мин в печи с температурой рабочего пространства 350—450 °С. При изготовлении сыпучих смесей используют термореактивные фенолоформальдегидные смолы. Наибольшее распространение получило связующее ПК-104, состоящее из фенолоформальдегидной смолы марки 104 в виде мелких чешуек и 7,4—8,0 % (мас. доля) уротропина. Наилучшими зарекомендовали себя плакированные песчано-смоляные смеси,

12. Формовочные песчано-цементные смеси

Состав смеси, % (объем. доля)			Свойства смеси						Область применения
Песок К025	Отработанная смесь	Портландцемент марок 400—600	Влажность, %	Газопроницаемость во влажном состоянии, ед., не менее	Предел прочности при сжатии, 10^5 Па: во влажном состоянии	Предел прочности при сжатии, 10^5 Па: после затвердевания	Газопроницаемость после затвердевания *, ед., не менее	Продолжительность затвердевания формы, ч	
30—32	60	8—10	5,0—6,0	100	0,11—0,13	3—4	200	50—70	Крупные отливки (более 1 т)
32—33	60	7—8	4,0—5,0	80	0,10—0,12	3,0—3,5	190	36	Бронзовые отливки (арматура)
—	94—96	6—4	4,0—5,0	250	0,10—0,12	1,5—2,5	250	33—48	Отливки из медных сплавов

* На воздухе при 15—20 °С в течение 24 ч.

в которых смола в виде тонкой пленки покрывает зерна песка.

Состав [% (мас. доля)] сыпучих плакированных песчано-смоляных смесей для литья алюминиевых и магниевых сплавов:

Кварцевый песок	100
Смола ПК-104	5,0
Растворитель	1,1 ... 1,2
Борная кислота (при литье магниевых сплавов)	0,5

После тепловой обработки прочность (МПа) этих смесей не должна быть менее: 0,5—0,7 — на изгиб; 0,2—0,25 — на разрыв.

Одной из разновидностей теплового метода упрочнения стержней, изготовленных из песчано-смоляных смесей, является кратковременная их выдержка в нагретом до определенной температуры стержневом ящике (процесс изготовления стержней в горячих ящиках). В зависимости от класса применяемых смол температура нагрева ящика изменяется от 220 до 280 °С, а выдержка в нем стержня — от 40 до 70 с.

Пластичные смеси упрочняют как за счет введения добавок катализаторов, ускоряющих протекание реакций полимеризации смолы, так и тепловой обработкой.

Песчано-смоляные смеси, твердение которых осуществляют за счет введения катализаторов, получили название холоднотвердеющих (ХТС). Изготовленные из них стержни упрочняются непосредственно в стержневых ящиках без тепловой обработки.

Наибольшее распространение получили ХТС, используемые для стержней различных классов сложности при единичном и серийном производстве отливок. В число компонентов ХТС входят синтетические смолы (ОФ-1, ФФ-1Ф, ФФ-1СМ, УКС-Л, КФ-90, КФ-40 и др.) и катализаторы [бензосульфокислота (БСК) и ортофосфорная кислота (ОК)]; БСК [хорошо растворимый в воде кристаллический материал (ТУ 6-14-25—74)] используют в виде водного раствора плотностью

1200—1250 кг/м³ для отверждения смол ОФ-1, ФФ-1Ф и других классов; ОК — в виде водного раствора плотностью 1200—1550 кг/м³ для отверждения смол КФ-90, УКС-Л и других смол карбамидофуранового класса.

Состав [% (мас. доля)] пластичных песчано-смоляных холоднотвердеющих смесей, предназначенных для изготовления стержневых смесей:

Кварцевый песок классов О61К и О62К	100
Смола УКС-Л	2,5—3,5
Катализатор	0,5—0,6
Фуриловый спирт	20—40 (от массы смолы)

Свойства этих смесей:

Газопроницаемость, ед.	150—200
Живучесть, мин	3—5
Прочность (МПа) на сжатие после выдержки в течение 4 ч	0,20—0,27

Отверждение жидких смесей, используемых для изготовления стержней, происходит как при тепловой обработке, так и при введении катализаторов. В качестве добавки, способствующей переводу смеси в жидкое состояние, применяют сульфонол НП-1.

При изготовлении жидких самотвердеющих смесей применяют синтетические смолы КФ-35, КФ-90 и МФС-1; в качестве пенообразователя — НП-1; катализатора — бензосульфокислоту (БСК).

Состав [% (мас. доля)] жидких песчано-смоляных самотвердеющих смесей для изготовления стержней:

Кварцевый песок классов О61К и 2К	100
Смола КФ-35	2—3
Раствор БСК (70 %-ный раствор)	0,8—1,0
Сульфонол НП-1	0,10—0,15
Вода	1,5—2,0

Свойства этих смесей:

Газопроницаемость (ед.) при выдержке 1 ч	50—100
Прочность на сжатие, МПа	0,12—0,30

В качестве связующего при приготовлении жидких самотвердеющих смесей могут применяться также связующие СП и СБ, содержащие соответственно, % (мас. доля): сульфитно-спиртовой барды 96—97 и 88—90; петролатума 3—4 и связующего ГТФ 10—12.

Песчано-масляные (стержневые) смеси. Название этих смесей условно, так как вместо масляных связующих широко используют их заменители — связующие П, ПТ, ГТФ, КО и другие связующие, не содержащие в своем составе растительных масел.

Песчано-масляные смеси применяют при изготовлении стержней для ответственных отливок классов сложности I, II и III в условиях мелкосерийного и крупносерийного производства отливок.

Упрочнение стержней из этих смесей осуществляют тепловой обработкой — сушкой, при температуре 170—180 °С при использовании в качестве основного связующего крепителя М, декстрина или пектинового клея; 200—220 °С при использовании крепителей П, ПТ и ГТФ. Помимо связующих материалов, в состав песчано-масляных смесей вводят добавки формовочной глины с целью повышения прочности стержней во влажном состоянии и предупреждения их деформации под влиянием собственной массы, а также добавки сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ).

При изготовлении стержней для алюминиевых и магниевых отливок применяют смеси со следующими связующими: М в сочетании с пектиновым клеем для стержней класса сложности I; П, ПТ и ГТФ в сочетании либо с сульфитно-спиртовой бардой, либо с СДБ для стержней классов сложности II и III; СДБ в сочетании с глинистым песком либо формовочной глиной для стержней классов IV и V.

Кроме того, при литье магниевых сплавов в состав смесей вводят специальные добавки: борную кислоту, фтористую присадку или серу, которые предупреждают процесс окисления сплава в литейной форме.

При получении стержней для отливок из медных сплавов применяют свя-

13. Состав и свойства стержневых песчаных смесей для отливок из сплавов цветных металлов [43]

Класс сложности стержня	Содержание компонентов в смеси, % (мас. доля)					Связующее (сверх 100 %)	Свойства смеси			
	Песок		Формовочная глина	Оборотная смесь	Древесные опилки		Влажность, %	Газопроницаемость, ед.	Прочность, 10^5 Па	
	кварцевый 016, 02	глинистый П016							на сжатие по сырому	на разрыв по сухому
Алюминиевые и магниевые сплавы										
I	100	—	—	—	—	М1 1,0—1,5; пектинового клея 0,5—1,5; 4ГУ 2—3	2—3	100	0,03—0,07	8—10
II	97—99	—	1—3	—	—	П и ПТ 1,3—1,5; ГТФ 1,8—2; СДБ 1,5—2	2—3	80	0,06—0,12	5—7
III	95—97	—	3—5	—	—	ГТФ 2—2,5; СДБ 2—3	3—4	80	0,10—0,15	4—5
IV	—	40—60	—	60—40	—	СДБ 3,5—5	5—7	70	0,20—0,40	1,5—3,0
V	—	50—60	—	49—35	1—5	СДБ 3—5	6—8	70	0,20—0,40	1,0—1,5
Медные сплавы										
I	100	—	—	—	—	4ГУ 2,5—3	2—3	120	0,03—0,06	7—10
II	97	—	3	—	—	П и ПТ 2—3; ГТФ 3,5—4	3—4	90	0,06—0,10	5—7
III	97—96	—	3—4	—	—	ГТФ 2—3; СДБ 2—3	3	90	0,10—0,20	3,5—5
IV	61—67	—	4—5	26—32	3—2	СДБ 3—5; СБ или СП 4—5	4—5,5	70	0,20—0,35	2—2,5
V	—	35—45	—	50—60	5		5—6	70	0,3—0,5	1,5—2

Примечание. В смеси добавляют, % (мас. доля): для алюминиево-магниевых сплавов — борной кислоты в виде порошка 0,5—1; для магниевых сплавов — борной кислоты 0,2—0,5 и серы до 1.

вующие марок: 4ГУ, П и ПТ для стержней классов сложности I—III; СДБ, СП, СБ для стержней классов сложности IV и V.

Составы и свойства стержневых смесей приведены в табл. 13.

Графитовые и огнеупорные материалы для изготовления форм. С целью уменьшения взаимодействия между расплавом и формой вместо кварцевых песков применяют высокоогнеупорные материалы и материалы высшей огнеупорности. В табл. 14 [13] приведены характеристики некоторых марок графитовых материалов, применяемых при литье титановых сплавов.

Материалы, используемые при изготовлении оболочковых форм и ХТС, приведены в табл. 15 и 16; характеристики высокоогнеупорных материалов и материалов высшей огнеупорности — в табл. 17.

При литье титановых сплавов используют разовые формы (набивные, прессованные, оболочковые, по выплавляемым моделям), а также металлические (литье в кокиль, литье под давлением).

Для изготовления разовых форм наибольшее распространение получили формовочные смеси, в которых в качестве огнеупорной основы применяют следующие материалы:

углеродные — графит, кокс, пироуглерод и др.;

керамические — огнеупорные оксиды, а также карбиды, нитриды и бориды.

Наилучшей химической стойкостью по отношению к титану обладают формы на основе углеродных материалов.

Для изготовления керамических форм используют высокоогнеупорные оксиды: α-оксид алюминия (электрокорунд), магнезит и оксид циркония ZrO_2. Также на основе огнеупорных оксидов изготовляют формы, получаемые по выплавляемым моделям, набивкой и прессованием.

С целью повышения химической инертности керамических форм на их рабочую поверхность иногда наносят огнеупорные химически стойкие по отношению к титану покрытия, состоящие из вольфрама, молибдена, графита, пироуглерода и других материалов.

В качестве связующего вещества в графитовых формовочных смесях применяют синтетические смолы: фенолоальдегидные, фурановые и другие смолы с высоким коксовым числом. Вместо синтетических смол могут быть использованы водорастворимые связующие вещества.

Графитовые формовочные смеси с органическими связующими (синтетическими смолами) придают формам высокие термохимическую стойкость и огнеупорность.

По методу отверждения формовочные смеси подразделяют на смеси холодного и горячего отверждения.

К формовочным смесям холодного отверждения относятся смеси: СГУ-1, СГУ-3, ВГУ-1 и др.; к смесям горячего отверждения — СГУ-2, СФТ-1, СФТ-1П, АТМ и др. В смесях первого типа отверждение происходит в результате полимеризации связующего вещества при введении в смесь катализатора (например, водного раствора соляной кислоты или др.). В смесях второго типа полимеризация связующего вещества осуществляется при нагреве формовочной смеси. Нагрев проводят либо в нагревательных печах, в которые загружают изготовленные элементы литейной формы (смеси СФТ-1, СФТ-1П, СГУ-2 и др.), либо в нагретой металлической оснастке в период прессования элементов литейной формы (смесь АТМ). В табл. 18 приведены физико-механические свойства графитовых смесей.

Связующие материалы. Кроме формовочной глины в качестве связующего используют органические и неорганические материалы, условно подразделяемые на три класса: А — органические неводные; Б — органические водные; В — неорганические водные. По прочности органические и неорганические материалы делят на три группы: I, II и III (табл. 19).

К классу А относятся связующие, при использовании которых не добавляют воду (не растворимые в воде связующие). Такими связующими являются масла и их заменители, битумы, канифоль и др. Класс Б составляют органические связующие, растворяющиеся в воде, а после ее

14. Характеристики некоторых графитовых материалов

Марка графитового материала	Плотность, кг/м³	Пористость, %	Предел прочности, МПа			Размер заготовки, м		Примечание
			при сжатии	при изгибе	при растяжении	Диаметр	Длина	
ПРОГ	1640	24	5030 / 4700	1700 / 1230	1020 / 500	—	—	Изготовлен методом продавливания
ЭЭГ	1650	—	6500 / —	3000 / —	—	0,11	1,5	Для электроэрозионной обработки металлов
ГЭ	1500	28—30	2000	950	500	До 0,5	0,18	Графитированные электроды
ГМЗ	1600	24	2300 / 2506	— / 1000	— / 600	0,025—0,4	1; 5	Графит малозольный
МГ	1560	28	2450	1040	—	0,07—0,5	До 0,4	Мелкозернистый, спрессованный в пресс-форме
МГ-1	1610	25	3500	2100	—	0,094—0,03	0,25	Мелкозернистый, спрессованный в пресс-форме с одной пропиткой
ППГ	1700	22	3500	—	—	До 0,5	До 1,5	Плотный графитированный, спрессованный прошивным методом
ПГГ	1650	24	3000	—	—	0,135—0,3	0,2—0,28	Плотный графит, спрессованный в глухой матрице
ПГ-2	1700	20	4500	—	—	0,135—0,3	0,2—0,28	Плотный, графитированный, спрессованный в глухой матрице с двумя пропитками
ПГ-50	1020	52	1160 / 1160	700 / 800	380 / 520	0,098/0,3	0,16—0,26	Пористый

Примечание. В числителе — значения предела прочности, измеренные в направлении, параллельном силе прессования образца, в знаменателе — в направлении, перпендикулярном силе прессования.

15. Свойства материалов, используемых при изготовлении оболочковых форм и ХГС

Материал	Химические свойства	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м³	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	Условная стойкость в вакууме, баллы	Удельная поверхность пылевидного * материала, см²/кг
Кварц	К	1713	2650	—	2	400—600
Дистен-силлиманит	КС	1545	3250	—	2	500—600
Циркон	КС	—	4500	5,1	3	700—800
Высокоглиноземистый шамот (муллит)	А	1600	3000	5,3	4	600—700
Электрокорунд (белый)	А	2050	4000	8,6	4	600—700
Двуокись циркония стабилизированная	А	2690	5730	7,2	5	800—900
Окись магния (магнезит)	О	2800	3570	13,5	1	500—600
Шпинель	СО	2135	3560	7,6	4	500—600
Оксид кальция (спеченный)	О	2600	3320	13	5	500

* Размер зерен 0,05 мм.

Примечания: 1. Условные обозначения: К — кислый; КС — слабокислый; А — амфотерный; О — основной; СО — слабоосновной.

2. Балл соответствует самой низкой стойкости.

3. Размер зерен обсыпочного материала в первом слое 0,1—0,2 мм, в последующих — 0,315—0,63 мм.

16. Состав и свойства наполнителей для ХТС [73, 81]

Наименование наполнителей	Содержание компонентов наполнителей, % (мас. доля)						Плотность, кг/м³
	SiO_2	ZrO_2	Al_2O_3	MgO	Cr_2O_3	Оксиды железа	
Кварцевый песок	97—98	—	—	—	—	—	2650
Циркон	36	66	—	—	—	—	4500
Дистен-силлиманит	31	—	63	—	—	—	3250
Хромистый железняк	4—9	—	9—16	11—18	48—55	12—16	4400
Хромомагнезит	3—4	—	4—10	40—70	9—30	11—12	4300
Ставролит	5—7	—	40—45	—	—	18—20	3600
Оливин	38	—	—	47	—	13	3200
Рутил TiO_2	96	—	—	—	—	—	4280

Примечание. Дано примерное содержание основных компонентов (без примесей).

17. Характеристика высокоогнеупорных материалов и материалов высшей огнеупорности

Материал	Марка материала	Наименование и содержание % (мас. доля)		Огнеупорность, °С	pH водной вытяжки	Зерновой состав, % (мас. доля)	Область применения
		основного компонента	вредных примесей				
Высокоогнеупорные материалы							
Шамотный порошок для приготовления масс (ТУ 14-8-56—72)	ПШС	Al_2O_3 32; SiO_2 56,0—61,0	—	1690	7,8	Через сетки проходит: № 8 не менее 100; № 05 — 30—50; в том числе через сетку № 009 25—40. Остаток на сетке № 3 20—30	Многократные формы
Хромитовые порошки для литейного производства (ТУ 14-8-163—75)	ПХК	Cr_2O_3 не менее 45	SiO_2 не более 8; CaO не более 2,5	1600—1800	8	Через сетку № 05 проходит не более 40. Остатки на сетках: № 3 не допускается; № 2 не более 5	Облицовочные смеси
	ПХС	Cr_2O_3 не менее 30	SiO_2 не более 10; CaO не более 3,0				
Дистен-силлиманитовый концентрат (ТУ 48-4-307—74)	КДСЗ	Al_2O_3 не менее 75	Fe_2O_3 не более 0,8, CaO не более 0,2; MgO не более 0,4; TiO_4 не более 1,5	1800	5,7	Остаток на сетке № 0315 не более 0,5	Формовочные и стержневые смеси для получения крупных отливок из медных сплавов
Оливиновый песок	—	MgO 46—50, SiO_2 42—43	Оксидов железа не более 10—12; $Al_2O_3 + Cr_2O_3 + CaO + MgO$ не более 2,0	1750—1830 *	9,8	—	Добавляют в облицовочные смеси и покрытия при изготовлении

							форм и стержней крупных отливок из тугоплавких сплавов цветных металлов
Материалы высшей огнеупорности							
Магнезитовый порошок для литейных форм (ТУ 14-8-16—71)	МЛФ	MgO 91,0	CaO 3,5; SiO_2 3,0	1900—2000	12,8	Через сетку № 0063 проходит 12—22. Остаток на сетке № 1 не более 15	—
Магнезитохромитовые и хромомагнезитовые порошки (ТУ 14-8-132—74)	ПМХТ	Cr_2O_3 15—20; MgO 55	SiO_2 5	2000—2100	0,5	Через сито № 05 проходит 50—85. Остаток на сите № 1 не более 7	Противопригарные краски и пасты
Магнезитохромитовые и хромомагнезитовые порошки (ТУ 14-8-132—74)	ПМХТ	Cr_2O_3 30—40; MgO 55	SiO_2 5	2000—2100	0,5	Через сетки проходит: № 05 70—85; в том числе через сито № 009 20—35. Остаток на сите № 1 не более 7	
Корундовые порошки для набивных масс	ПКН-8	Al_2O_3 98	Fe_2O_3 0,5	2050	9	Через сетки проходит № 8 не менее 90; № 2 не более 10	Корундовый порошок ПКН-0,5 может быть использован для приготовления облицовочных смесей при производстве отливок из тугоплавких сплавов

Продолжение табл. 17

Материал	Марка материала	Наименование и содержание % (мас. доля)		Огнеупорность, °С	pH водной вытяжки	Зерновой состав, % (мас. доля)	Область применения
		основного компонента	вредных примесей				
Корундовые порошки для набивных масс	ПКН-2	Al_2O_3 98	Fe_2O_3 0,5	2050	9	Через сетку проходит: № 2 не менее 90; № 5 не более 10	См. с. 253
	ПКН-0,5					Через сетку № 05 проходит не менее 90	
Цирконовый песок (РСТ УССР 654—70)	Ц1	$ZnSiO_4$ 97,0—98,5	Примеси сопутствующих минералов: 1,5—3,0	2430—2450	6,5	Остаток зерен на двух основных смежных ситах № 01 и № 0013 не менее 90	Формовочные материалы для получения крупных толстостенных отливок при длительном воздействии на смесь высоких температур и металлостатических давлений
	Ц2	$ZnSiO_4$ 94,0—96,5	3,5—6,0				

* Температура спекания 1400 °С.

18. Физико-механические свойства графитовых формовочных смесей

Марка смеси	Сырые образцы		Образцы, обожженные при 1000 °С			
	Прочность на сжатие, МПа	Газопроницаемость, ед.	Прочность на разрыв, МПа	Газопроницаемость, ед.	Осыпаемость, %	Усадка, %
СФТ-1	0,06—0,07	Св. 25	0,8—0,9	150—170	0,10—0,12	2,0—2,2
СФТ-1П	0,07—0,09	» 25	Св. 0,9	Св. 90	До 0,1	0,9—1,1
СГУ-2	0,018—0,024	—	0,7—1,1	—	0,02—0,05	2,2—2,4
СГУ-3	0,018—0,03	50—65	0,6—1,2	80—100	0,02—0,05	1,9—2,0
БГУ-1	0,025—0,05	—	0,5—0,8	90—150	—	0,8—0,9

испарения (при сушке стержней) связывающие зерна песка. К классу Б относятся сульфитно-спиртовая барда, сульфитно-дрожжевая бражка, декстрин, пектиновый клей, патока и др. В класс В входят неорганические связующие (жидкое стекло, глина, цемент), которые так же, как и связующие класса Б, проявляют связующую способность только после добавления к ним воды.

Основным признаком отнесения связующего к той или иной группе является удельная прочность, т. е. прочность на разрыв, отнесенная к 1 % введенного в стержневую смесь связующего. Для оценки удельной прочности в лабораторные бегуны загружают 2 кг сухого кварцевого песка и 2 % воды. После перемешивания смеси в течение 2 мин добавляют 2 % связующего, и перемешивание про-

19. Классификация связующих материалов

Группа	Удельная прочность, $\frac{10^5 \text{ МПа}}{1\ \%}$	Класс А		Класс Б		Класс В	
		Связующее	Обозначение	Связующее	Обозначение	Связующее	Обозначение
I	Св. 0,5	Растительные масла, олифа, П, ПТ, ПТА, синтетические смолы типов: ОФ-1, ФФ-1Ф, ФФ-1СМ и др.	А-1	Синтетические смолы типов: М-3, УКС-Л, КФ-40, КФ-90, БС-40 и др.	Б-1	Жидкое стекло	В-1
II	0,3—0,5	4ГУ (П), ГТФ, БК, УСК-1, КО и др.	А-2	Декстрин, пектиновый клей	Б-2	—	—
III	До 0,3	Канифоль, СП, СБ и др.	А-3	Концентраты сульфитно-дрожжевой бражки, патока	Б-3	Глина, цемент	В-3

должается еще 8 мин. Из полученной смеси изготовляют образцы (восьмерки) для определения прочности на разрыв по-сухому. Так, если прочность на разрыв связующего группы II составляет 0,85 МПа, то, разделив это значение на два (в смесь введено 2 % связующего), получим удельную прочность, отнесенную в 1 % связующего.

Наиболее часто применяют связующие марок [43]:

П — раствор окисленного бакинского петролатума (побочного продукта при изготовлении смазочных масел из нефти) в уайт-спирите (особо чистом керосине); состав, % (мас. доля): петролатума 50—55, уайт-спирита 50—45;

ПТ — раствор окисленного петролатума и талового масла (темная вязкая смола, получаемая при переработке сульфатного мыла) в уайт-спирите;

ПТА — раствор окисленного петролатума, обработанного аммиаком, и талового масла в уайт-спирите;

П, ПТ и ПТА применяют при изготовлении стержней класса I;

4ГУ (П) — раствор сплава битума [25 % (мас. доля)] и канифоли [25 % (мас. доля)] в уайт-спирите [50 % (мас. доля)]. При приготовлении этого связующего битум сплавляют с канифолью, а затем сплав растворяют в уайт-спирите; применяют для стержней классов I и II;

ПК-104 — тонкоизмельченная смесь новолачной фенолоформальдегидной смолы 104 и 7,4—8 % (мас. доля) уротропина, связующее используют при изготовлении оболочковых форм и стержней;

ГТФ — генераторная тяжелая фракция сланцевой генераторной смолы, получаемой при тепловой переработке эстонских сланцев; введение этого связующего в комбинации с сульфитной бардой или бражкой значительно повышает прочность сухих образцов на разрыв; связующее дешево и недефицитно; применяют для стержней классов II и III;

БК — эмульсия, состоящая, % (мас. доля): из сульфитно-дрожжевой бражки 73—75 %; лака этиноля 15—17 %; связующего ГТФ 10—12 %; применяют для стержней классов II и III,

СП и СБ — эмульсии, состоящие из сульфитно-спиртовой барды и соответственно из окисленного петролатума и связующего ГТФ; относятся к быстросохнущим; их используют при изготовлении стержневых (стержни классов сложности IV—V) и формовочных смесей;

М — мочевино-формальдегидная смола, являющаяся продуктом конденсации мочевины с формальдегидом в присутствии уротропина; применяют при изготовлении стержневых смесей для отливок из сплавов цветных металлов; процесс сушки более ускоренный, чем при использовании многих других связующих.

Отрицательным свойством мочевинных смол является выделение при заливке форм резкого неприятного запаха, для устранения которого в стержневые смеси связующее М вводят в сочетании с пектиновым клеем, который получают из жома сахарной свеклы либо из яблоневых выжимок.

Концентраты сульфитно-дрожжевой бражки являются отходами при переработке сульфитного щелока (побочный продукт целлюлозно-бумажного производства) в спирт. Различают бражку двух марок: КБЖ — концентраты бражки жидкие и КБТ — концентраты бражки твердые.

Разделительные покрытия уменьшают прилипаемость формовочных и стержневых смесей к модельной оснастке. Различают *многократно используемые покрытия* деревянных моделей и стержневых ящиков (лаки, эмали и синтетические смолы) и *разовые покрытия*, наносимые на поверхность моделей и ящиков после каждого или нескольких циклов формовки (порошки или жидкости).

В качестве многократно используемых покрытий для деревянных моделей используют химически стойкий лак ХСЛ на основе перхлорвиниловой смолы и полиуретановый лак УР-24.

В качестве разовых порошкообразных разделительных припылов применяют кристаллический графит, искусственный ликоподий (мраморная пудра, плакированная стеарином), белую сажу и эбонитовую пыль (ТУ 38-105323—76). Разделительные

20. Разделительные покрытия для горячей оснастки

Покрытие	Область применения
3 %-ный раствор синтетического термостойкого каучука СКТ-Р (ГОСТ 14680—79)	Для форм и стержней из смесей на основе связующих, а также при использовании оснастки с закрытым электрическим нагревом
Эмульсия КЭ-60-90 (ТУ 6-02-858—74) на основе каучука СКТН-А, разбавленная дистиллированной водой в соотношении 1 : 15	Для форм и стержней на основе различных связующих, а также при использовании оснастки с электрическим и газовым нагревом
Кремнийорганическая эмульсия КЭ-10-01 (ТУ 6-02-587—75), разбавленная дистиллированной водой в соотношении 1 : 15	Для форм и стержней на основе карбамидно-фурановых связующих, а также при использовании оснастки с электрическим и газовым нагревом
Расплав озокерита М-60 (ВТУ 288—49)	Для форм и стержней из смесей на основе карбамидно-фурановых связующих, а также при использовании оснастки с закрытым электрическим нагревом

припылы используют преимущественно при изготовлении форм и стержней вручную.

Жидкие разделительные покрытия применяют при механизированном и автоматизированном процессах изготовления форм и стержней. Так, для форм из песчано-глинистых смесей применяют масло ВИ4 (ТУ 39-101-308—72) и разделительные покрытия, содержащие олеиновую кислоту (ТУ 18-16-303—74), технологическую смазку СП-3 (ГОСТ 5702—75) и антифрикционную модельную смазку ОК-72.

Для опрыскивания модельных плит на КамАЗе применяют разделительное покрытие, состоящее из 10—15 % олеиновой кислоты и 85—90 % осветительного керосина КО-25. Допускается замена олеиновой кислоты маслом ИГП-6 (ТУ 38-1-01-75—70).

При изготовлении форм и стержней из жидкостекольных смесей применяют разделительное покрытие, состоящее из раствора канифоли в керосине (соотношение массовых долей 1 : 10).

Для стержней из набивной самотвердеющей смеси рекомендуют использовать водный раствор эмульсола (1 : 1), раствор СДБ плотностью 1150—1200 кг/м^3, смесь мазута с керосином (1 : 1), минеральное масло ДС-РАС. В качестве разделительных покрытий при работе с ХТС на термопластичных смолах применяют смесь кристаллического графита с керосином (1 : 2), 1—2 %-ный раствор парафина в керосине или бензине, смесь кристаллического графита с минеральным маслом.

Разделительные покрытия для горячей оснастки приведены в табл. 20 [79].

Противопригарные добавки и защитные присадки. В качестве противопригарных добавок в смеси для формообразования отливок из медных сплавов вводят мазут (0,5—1,5 %). Его действие основано на том, что в период заливки формы сплавом в результате сгорания мазут на поверхности раздела металла и формы создается газовая прослойка, препятствующая проникновению расплава в поры смеси. Кроме того, присутствие оксида углерода в газообразных продуктах создает в форме восстановительную атмосферу, препятствующую окислению металла. Для отливок, имеющих сложные внутренние полости, не подвергаемые обработке,

в состав стержневых смесей вводят пылевидный кварц, который заполняет поры между зернами песка и препятствует проникновению расплава в поверхность стержня.

При изготовлении отливок из алюминиевых и магниевых сплавов в состав формовочных и стержневых смесей вводят борную кислоту, фтористую присадку или присадку ВМ, которую вводят в виде водного раствора или порошка, состоящую из 58—62 % мочевины, 13—17 % борной кислоты и 15—19 % нефелинового коагулянта. Вводимые присадки препятствуют окислению и самовозгоранию этих сплавов за счет образования защитной атмосферы.

Для дополнительной защиты от пригара наружную поверхность форм и стержней покрывают тонким слоем специальных противопригарных материалов. При формовке по-сырому поверхность формы покрывают серебристым графитом (литье из медных сплавов), тальком (литье из алюминиевых и магниевых сплавов), цементом и др. Для повышения поверхностной прочности форму опрыскивают из пульверизатора раствором сульфитно-дрожжевой бражки, разбавленной теплой водой до плотности 1100 кг/м^3.

Стержневые клеи и замазки [73]. Сульфитный клей состоит, мас. часть: сульфитно-спиртовой барды 50; формовочной глины 50; воды 20. Также применяют клей состава, % (мас. доля): декстрина 40; формовочной глины 60; воды 65.

Литейные клеи № 1, 2, 3 и 4, отверждаемые тепловой сушкой, содержат соответственно 38; 38,5; 29,8 и 50 % (мас. доля) огнеупорной глины. В состав клеев вводят также, % (мас. доля): № 1 — скрытокристаллического графита 2; бентонитовой глины 20; ССБ 40; № 2 — декстрина 65; горячей воды 35; № 3 — ССБ 61,5; № 4 — скрытокристаллического графита 8,1; декстрина 62,1; № 5 — жидкого стекла 50.

На КамАЗе при производстве стержней в горячей оснастке применяют самотвердеющий клей, содержащий, % (мас. доля): смолы ФПР-24 48; пылевидного кварца 52; катализатора ФС 26/6 11,9—13,3; изопропилового спирта 2,6—1,3. Предел прочности образца на растяжение через 30 с после холодного склеивания превышает 1 МПа.

Замазки (табл. 21) применяют для заделки швов, образующихся при склеивании стержней, а также для устранения дефектов (выбоин, трещин).

В замазки для отливок из магниевых сплавов вводят 3—6 % борной кислоты.

Для предотвращения утечки металла при заливке форм, затекания металла в газоотводные каналы стержней и уменьшения толщины заливов разъемы форм и стержней уплотняют безводной мастикой и прокладочными жгутами (ТУ 2-043-588—77), накладываемыми на разъем литейной формы.

Теплоизоляционные материалы. В качестве теплоизоляционных наполнителей используют строительные теплоизоляционные материалы, которые в соответствии с ГОСТ 16381—77 классифицируют:

по структуре на зернистые (аглопоритовый песок, трепел, кизельгур, вспученный перлит, шунгизит), ячеистые (пеношамот, пеностекло), слоистые (отходы слюды, вермикулит), волокнистые (стекловолокнистые, минераловатные, шлаковатные), со смешанной структурой (асбестин, асбозурит, порошок совелитовый);

по виду исходного сырья на неорганические (вспученный перлит, вермикулит, шингизит) и органические (древесные опилки);

по форме и внешнему виду на сыпучие и рыхлые (перлитовый песок, вата), рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты), штучные (пеношамотные или перлитокерамические блоки и полуцилиндры, втулки и фасонные изделия из теплоизоляционных смесей);

по теплопроводности на классы:

Коэффициент теплопроводности при 20° С, Вт/(м·°С)	
А (низкой теплопроводности)	До 0,0581
Б (средней теплопроводности)	0,0581—0,1163
В (повышенной теплопроводности)	0,1163—0,1744

21. Составы замазок [72, 73]

Компоненты замазки	Содержание компонентов, % (мас. доля)
Медные сплавы	
Песок 2К063	60
Кристаллический графит	25
Формовочная глина	15
Вода	0,3 *1
Алюминиевые сплавы	
Полужирный песок	34—26
Белый тальк	63—70
Пектиновый клей	1—2
Крепитель ЛКБЖ плотностью 1270 кг/м³	2
Вода	30—40 *2
Белый тальк	30
Железный сурик	10
Полужирный песок	60
Вода	30—35 *2
Белый тальк	94—90
Формовочная глина	6—10
Вода	20—30 *2
Полужирный песок	90
Бентонитовая глина	10
Вода	20—30 *
Песок П01	36—38
Тальк	63—60
Декстрин	1—2
Крепитель ССБ	1—2 *2
Вода	30—40 *2

*1 0,3 л на 1 кг сухой смеси.
*2 Сверх 100 %.

по возгораемости на три группы: несгораемые (неорганические материалы), трудносгораемые (органические материалы, содержащие большое количество неорганических примесей, или пропитанные неорганическими веществами, например, жидким стеклом), сгораемые (органические материалы — опилки, отходы измельченного кокса, торфа);

по температуре применения на три группы: с температурой применения до 800, 800—1200, более 1200 °С; первую группу материалов используют при изготовлении отливок из сплавов на основе алюминия, вторую — на основе меди и третью — на основе железа.

Зернистые и ячеистые теплоизоляционные материалы — это пористые осадочные породы; материалы, вспученные при высокой температуре; пористые материалы, получаемые в качестве отходов при производстве строительных материалов.

В природе зернистые теплоизоляционные материалы встречаются в виде кремнистых опаловых соединений, содержащихся в осадочных породах. Типичными представителями таких соединений являются аглопоритовый песок и диатомит. Пористые зернистые материалы получают при обработке жидких шлаков, содержащих большое количество газов, или сливов шлаков определенного химического состава в водный бассейн. К зернистым материалам, вспученным при высокой температуре, относятся вспученный перлит и шунгизит.

Аглопоритовый песок (ГОСТ 11991—83) в основном состоит из кремнистых опаловых пород, в частности диатомита, содержащего полые панцири микроскопических организмов (диатомитовые водоросли) гидрокремнистого состава. В качестве примесей в него входят глинистые материалы.

Вспученный перлит (ГОСТ 10832—83) представляет собой зернистый пористый материал в виде песка или щебня, получаемый при термической обработке измельченных стеклообразных пород типа обсидиана, перлита и других материалов, содержащих в своем составе первичную воду

в количестве 0,3—5,8 %. Термическая обработка осуществляется в специальных барабанных, шахтных или вибрационных печах при температуре до 850 °С. При парообразовании и выделении газов происходит размягчение и вспучивание материала. Температура, время нагрева и коэффициент вспучивания перлита зависят от химического состава исходного сырья. Обычно коэффициент вспучивания равен 6,0—15,0.

В соответствии с ГОСТ 10832—83 вспученный перлит (песок) подразделяют на марки в зависимости от объемной массы: 100; 150; 200 и 250. Перлитовый песок подразделяют также по размерам зерен на рядовой (размеры зерен менее 5 мм); крупный — 1,25—5,0; мелкий — 0,16—1,25; пудра (фильтр-порошок) — менее 0,16 мм.

Шунгизит получают вспучиванием измельченных сланцевых шунгитосодержащих пород, содержащих 1,2—5 % шунгитового вещества. Это особая форма углерода, состоящая из частиц размером 0,2 мкм, равномерно распределенных в силикатной массе. Температура вспучивания шунгизита 1100—1240 °С. Свойства шунгизитового гравия регламентируются ГОСТ 9759—83 на керамзитовый гравий.

Шунгизитовый песок с размерами зерен до 5 мм получают дроблением более крупных кусков гравия. Вспученный шунгизит имеет мелкоячеистую структуру.

Перлитокерамические изделия изготовляют прессованием вспученного перлитового песка и глины (в соотношении 1 : 1) и дальнейшей сушкой и обжигом при температуре 850—900 °С. Получаемые марки изделий: 250, 300, 350, 400. В литейном производстве используют оболочки и трубы, изготовленные из перлитокерамических смесей, а также измельченные отходы перлитокерамических изделий. Коэффициент теплопроводности изделий с объемной массой 250—400 кг/м^3 при 20 °С составляет 0,075—0,110 Вт/(м·°С).

Песок и гравий керамзитовый (ГОСТ 9759—83) — искусственные пористые материалы, получаемые путем вспучивания при обжиге силикатных пород (глин, трепела, сланцев) или золы из отходов тепловых электростанций. В литейном производстве такие материалы используют с размером зерен до 5 мм и объемной массой до 200 кг/м^3.

Шлаковую пемзу (ГОСТ 9760—86) получают поризацией расплавленных шлаков с последующим дроблением и рассевом. В литье используют шлаковую пемзу с размером фракций до 5 мм и объемной массой до 400 кг/м^3.

Слоистые теплоизоляционные материалы получают из отходов природной слюды и вспученного при высоких температурах вермикулита.

Слюда встречается в трех минералогических модификациях (мусковит, флогопит и биотит), не содержащих кристаллизационную воду. Эти минералы не вспучиваются при нагревании. Объемная масса слюды в рыхлом состоянии 150—350 кг/м^3, что значительно превышает объемную массу вспученного вермикулита.

Вспученный вермикулит — пористый зернистый материал чешуйчатого строения, получаемый обжигом вермикулита.

Вермикулит вспучивается при нагревании до 980 °С вследствие того, что содержащаяся в нем вода, превращаясь в пар, расслаивает частицы по плоскостям спаянности на отдельные пластинки-чешуйки. При вспучивании объем вермикулита увеличивается в 15—25 раз.

По размеру зерен вермикулит подразделяют: на крупный (размеры зерен 5,0—10,0 мм); средний (0,6—5,0 мм); мелкий (до 0,6 мм).

Волокнистые теплоизоляционные материалы — материалы либо природного происхождения, либо полученные методом распыления смеси оксидов с определенным модулем кислотности.

Асбест имеет волокнистое строение, способен расщепляться на прочные тонкие и гибкие волокна, что повышает его теплоизоляционные свойства.

В качестве волокнистых теплоизоляционных материалов используют минеральную вату, основу которой составляют: стекловолокно, базальтовое волокно, шлаковая вата.

Теплоизоляционные материалы со смешанной структурой имеют природное происхождение, а также могут быть получены смешиванием материа-

лов с различной структурой.

Порошок совелитовый (ТУ 36-131—77) получают при размоле совелитовых изделий (ГОСТ 6788—74), в состав которых входят $MgCO_3$, $CaCO_3$ и асбест. Объемная масса совелитового порошка 250 кг/м³ и коэффициент теплопроводности 0,095—0,12 Вт/(м·°С).

Асбестин — разновидность тальковых руд; представляет собой рыхлую горную породу, содержащую, кроме талька, до 25 % коротковолнистого тремотита и в качестве примесей — карбонаты.

Асбозурит (ТУ 36-130—77) представляет собой порошкообразную смесь трепела или диатомита с 15 % (мас. доля) асбеста. Изделия из асбозурита марок 600, 700 и 800 имеют коэффициент теплопроводности 0,17—0,22 Вт/(м·°С).

Наиболее широко в качестве теплоизоляционного материала используют вспученный перлит (как дешевое сырье). Смесями со вспученным перлитом утепляют боковые стенки прибылей, применяют в качестве засыпок зеркала металла и для покрытий, регулирующих скорость затвердевания и охлаждения отливок в металлических формах.

Наполнителями теплоизоляционных смесей являются вспученный вермикулит и шунгизит; засыпками — аглопоритовый песок, керамзит и трепел. В последнее время в литейном производстве все больше используются изделия на основе волокнистых материалов.

2. Постоянные формы и стержни, литейная оснастка

Материалы пресс-форм. Все формообразующие детали пресс-форм при работе подвергаются сложному силовому, тепловому и химическому воздействиям расплава. Поэтому формообразующие детали изготовляют из материалов, которые обладают высоким сопротивлением термоциклическим нагрузкам, высокой твердостью, вязкостью и прочностью при нагреве, малым коэффициентом линейного расширения, хорошо обрабатываются резанием, мало деформируются при термической обработке и не вступают в физико-химическое взаимодействие с расплавом. Такими свойствами обладают стали, легированные вольфрамом, хромом, никелем, молибденом и ванадием. Формообразующие детали пресс-форм для литья алюминиевых, магниевых, медных и цинковых сплавов изготовляют из этих сталей (табл. 22); при литье титановых сплавов — из жаропрочной стали 3Х2В8Ф, титановых сплавов ВТ1, ВТ5, ВТ3-1, молибдена и его сплавов, а также из мелкозернистого графита марок ГМЗ и РВ.

Для других деталей пресс-форм (плит, контрвыталкивателей, колонок, втулок и т. д.) используют конструкционные стали 35, 40, 40Х, 45.

Для придания необходимых служебных свойств формообразующие детали пресс-форм подвергают термической и химико-термической обработке — низкотемпературному цианированию на глубину 0,05—0,2 мм.

Материалы для кокилей. В процессе эксплуатации в кокиле возникают значительные термические напряжения вследствие чередующихся резких нагревов (при заливке и затвердевании отливки) и охлаждений (при раскрытии кокиля и извлечении отливки), нанесения на рабочую поверхность огнеупорного покрытия). К тому же под действием переменных температур в материале кокиля могут протекать сложные структурные изменения и химические процессы. Поэтому материалы для кокиля, особенно для его частей, непосредственно соприкасающихся с расплавом, должны хорошо противостоять термической усталости, иметь высокие механические свойства и минимальные структурные превращения при температурах эксплуатации, обладать повышенной ростоустойчивостью и окалиностойкостью, иметь минимальную диффузию отдельных элементов при циклическом воздействии температур, хорошо обрабатываться, быть недефицитными и недорогими.

Для рабочих стенок кокилей используют различные материалы (табл. 23).

Чугуны, используемые для изготовления кокиля, имеют ферритно-перлитную структуру и графит в виде

22. Материалы для изготовления деталей пресс-форм

Заливаемый сплав	Детали пресс-формы	Марка стали	Твердость поверхности HRC
Цинковый	Вкладыши, вставки, особо сложные стержни, втулки литниковые, рассекатели	5ХНМ, 40ХНМА	58—62
	Стержни и выталкиватели	У10А	48—52
Алюминиевые и магниевые	Вкладыши, вставки, стержни, выталкиватели, рассекатели, втулки литниковые	3Х2В8Ф; 4Х5МФС	58—62
Медные	Вкладыши, вставки, стержни, рассекатели, втулки литниковые	3Х2В8Ф	42—46
—	Плиты-обоймы, ползуны, рейки, втулки стержней	40, 40Х	30—34
	Плиты подкладные	35, 45	—
	Колонки, направляющие, контртолкатели	У10А	50—55
	Втулки ползуна, втулки стержней	40Х, 45	48—52

23. Материалы для рабочих стенок кокилей

Материал	Область применения
СЧ20, СЧ25	Кокили для мелких и средних отливок, с воздушным или водовоздушным охлаждением, в двухслойном исполнении
ВЧ 40, ВЧ 45	Кокили для средних и крупных отливок: с воздушным либо водовоздушным охлаждением, а также в двухслойном исполнении
Стали: Ст3, 10, 20, 15Л—II, 15ХМЛ	Кокили с жидкостным охлаждением, вкладыши двухслойных кокилей
Медь и ее сплавы, легированные стали и сплавы с особыми свойствами	Вставки в места интенсивного термогидродинамического износа, металлические стержни
АЛ9, АЛ11	Водоохлаждаемые кокили с анодированной поверхностью, кокили с естественным охлаждением и анодированной поверхностью (в основном для мелких отливок)

24. Материалы для изготовления деталей кокилей

Детали кокиля	Условия работы	Используемая сталь
Стержни, штыри, обратные толкатели, тяги	Соприкасаются с жидким металлом, работают на истирание	45
Стержни, вставки, выталкиватели с резкими переходами в сечениях	Оформляют глубокие полости отливок и находятся под действием высоких температур	30ХГС, 35ХГСА, 35ХНМ, 4Х5МФС
Выталкиватели	Испытывают ударные нагрузки	У8А, У10А
Оси, валы, эксцентрики	Работают на истирание	25 *

* Подвергают цементации.

мелких изолированных включений. В этих чугунах не допускается присутствие свободного цементита, так как при нагреве кокиля происходит распад цементита с изменением объема материала, в результате чего в кокиле возникают внутренние напряжения, способствующие короблению кокиля, образованию на его рабочих поверхностях сетки разгара, снижению его стойкости. В состав таких чугунов для повышения их стойкости вводят до 1 % (мас. доля) никеля, меди, хрома; содержание вредных примесей (серы и фосфора) должно быть минимальным. Например, для изготовления кокилей с высокой теплонагруженностью рекомендуется серый чугун, состоящий, мас. доля, %: C 3,0—3,2; Si 1,3—1,5; Mn 0,6—0,8; Cu 0,7—0,9; Ni 0,3—0,7; Ti 0,08—0,1; S до 0,12; P до 0,1 [81].

Стали для кокилей обладают высокой пластичностью и поэтому хорошо сопротивляются растрескиванию при эксплуатации.

Кокили из алюминиевых сплавов анодируют, в результате чего на их рабочей поверхности образуется тугоплавкая (температура плавления около 2000 °С) износостойкая пленка окислов алюминия толщиной до 0,4 мм. Высокая теплопроводность алюминиевых кокилей способствует быстрому отводу теплоты от отливки. Эти кокили обычно делают водоохлаждаемыми. Медь также часто используют для изготовления рабочих стенок водоохлаждаемых кокилей.

Вставки и вкладыши для мест, в которых необходимо ускорять теплоотвод от отливки и тем самым управлять процессом ее затвердевания, изготовляют из меди.

Для стержней простой конфигурации используют и конструкционные углеродистые стали, сложной конфигурации — легированные стали, для прочих деталей (осей, валов, болтов и т. д.) — конструкционные стали (табл. 24).

Правильный выбор материала обеспечивает высокую стойкость кокилей. Стойкость кокилей (табл. 25) соответствует числу отливок требуемого качества, полученных в данном кокиле до выхода его из строя.

Технологическая оснастка — это совокупность приспособлений и инструментов, необходимых для вы-

25. Приблизительная стойкость кокилей

Заливаемые сплавы	Отливки	Материал кокиля	Стойкость кокиля (число получаемых отливок)
Медные	Мелкие Средние	Чугун	1 000—10 000 1 000—8 000
	Мелкие Средние	Сталь	1 000—1 500 500—3 000
Алюминиевые, магниевые, цинковые	Мелкие Средние Крупные	Чугун	Сотни тысяч Десятки тысяч Несколько тысяч

полнения процесса формообразования отливок. По роли в формообразовании отливок оснастку подразделяют на основную и вспомогательную. Основную оснастку составляет модельный комплект, в который входят модели, стержневые ящики, элементы моделей литниковой системы, модельные плиты и шаблоны. Вспомогательная оснастка — это опоки, подмодельные щитки, сушильные плиты, центрирующие штыри, скобы и т. п.

Модельные комплекты. Модельные комплекты классифицируются по способу изготовления литейной формы, габаритным размерам, сложности конструкции и роду материалов.

По способу изготовления литейной формы разделяют модельные комплекты для машинной и ручной формовки. Для ручной формовки модели могут иметь один-два и более разъемов, а также отъемные части. Для машинной формовки целесообразней иметь модели более простой конфигурации, без отъемных частей и по возможности с одним разъемом.

В зависимости от габаритных размеров модельные комплекты подразделяют на мелкие, средние и крупные. Мелкие модели и стержневые ящики имеют максимальный габаритный размер до 500 мм, средние — 500—1500 мм, крупные — более 1500 мм.

По сложности конструкции модельные комплекты классифицируют на простые, средней сложности и сложные. Простые — это неразъемные или разъемные мелкие и средние и стержневые ящики, имеющие прямолинейную или цилиндрическую форму. Количество стержневых ящиков в модельном комплекте один-два; в нем отсутствуют фальшивки, щитки и шаблоны. Модели не имеют бобышек, взаимно пересекающихся отверстий, а также переплетений ребер.

К модельным комплектам средней сложности относят неразъемные или разъемные модели и стержневые ящики любых габаритных размеров. Стержневые ящики и контуры моделей имеют несложные переходы, не требующие их выполнения по шаблонам с использованием ручного инструмента. В модельный комплект входят фальшивки, щитки, прямолинейные и с незначительными искривлениями шаблоны. На моделях имеются бобышки, взаимно пересекающиеся отверстия и ребра.

Сложные модельные комплекты — модели и стержневые ящики любых габаритных размеров, имеющие сложные контуры, а также криволинейные переходы, выполняемые по шаблонам с применением ручного инструмента. Модели и стержневые ящики имеют бобышки, знаковые части, взаимно пересекающиеся отверстия, прямолинейные и криволинейные ребра. В модельный комплект входят щитки и шаблоны.

В зависимости от применяемого материала модельные комплекты подразделяют на деревянные, металлические и неметаллические (пластмассовые, гипсовые, пенополистироловые

и др.). На выбор материала влияют тип производства и серийности заказа на изготовление отливок (табл. 26 и 27) [1].

Модельные плиты. При машинной, а в некоторых случаях и при ручной формовке модели укрепляют на одно- или двусторонние модельные плиты. Модельные плиты для машинной формовки изготовляют, как правило, из чугуна СЧ15 и выше, но если масса модельной плиты лимитирована, то модельные плиты изготовляют из алюминиевых сплавов АЛ3В, АЛ4В, АЛ9В, АЛ10В, АЛ14В. При мелкосерийном производстве для плит используют дерево с окантовкой металлом проушин для центровочных штырей и мест контакта плиты с опокой.

Литейные опоки. Основными требованиями, предъявляемыми к опокам, являются высокая прочность, жесткость и минимальная масса. Опоки изготовляют цельнолитыми из чугуна (марок не ниже СЧ15), стали (марок 15Л—45Л) и алюминиевых вторичных сплавов; сварные — из литых стальных элементов (20Л—30Л) либо из стандартизованного или специального проката; свертные (сборные) — из чугуна и стали.

Сушильные плиты, используемые для сушки стержней, подразделяют на плоские литые и сварные и фасонные литые. Литые плиты изготовляют из вторичных алюминиевых сплавов марок АЛ3В, АЛ7В, АЛ10В, АЛ14В и чугуна марок не ниже СЧ15; сварные плиты — из листовой и полосовой сталей, стальной ленты и из сталей Ст1, Ст2, Ст3.

Центрирующие штыри и скобы (для спаривания опок и полуформ) изготовляют соответственно из сталей 40—45 (с последующей закалкой на сравнительно высокую твердость и шлифовкой) и 30Л.

Холодильники используют для создания направленного затвердевания или ускорения охлаждения наиболее массивных частей отливки. Различают холодильники наружные и внутренние (по отношению к отливке).

Для изготовления наружных холодильников при цветном литье используют бронзу, чугун (СЧ18, СЧ20) и мягкую сталь. Наружные холодильники могут быть получены литьем (фасонные холодильники) или из проката. Рабочую поверхность холодильников обычно покрывают той же краской, что и саму форму.

Внутренние холодильники чаще всего выполняют из того же материала, что и отливки. Непременным условием применения внутренних холодильников является их полное расплавление. Иногда внутренние холодильники являются также и арматурой. В качестве холодильников используют проволоку, прутки, полосы, стружку и опилки. Внутренние холодильники устанавливают в труднодоступных массивных частях; их объем составляет 8—12 % объема металла в захолаживаемом месте отливки.

Каркасы различных конструкций применяют для повышения конструктивной прочности и жесткости стержней.

Каркасы не должны мешать выполнению в стержнях вентиляционных каналов, препятствовать усадке отливок при охлаждении; конструкция каркасов должна обеспечивать их свободное удаление из отливок для повторного использования.

Рекомендуются следующие типы каркасов: для стержней первого класса — простые, связываемые из проволочных (тонкая проволока) элементов или изготовленные из формовочных шпилек; второго класса — сложные и особо сложные связываемые проволочные каркасы, а также литые рамочные каркасы с проволочными торцами, изогнутыми в соответствии с конфигурацией стержня; третьего класса — проволочные связываемые или разборные каркасы; для больших цилиндрических стержней — стальная труба с отверстиями, расположенными по всей поверхности в шахматном порядке, а также сварные каркасы, сочетающие в себе плоское цилиндрическое основание и стальную трубу с отверстиями; четвертого и пятого классов — сварные рамочные каркасы (могут быть использованы также объемные и коробчатые сварные каркасы).

Проволочные каркасы изготовляют из низкоуглеродистой стальной (5Ст1кп, В2Ст2кп) проволоки ∅ 3—

26. Сравнительная характеристика материалов для модельных комплектов

Материал модельного комплекта	Преимущество	Недостаток
Сосна, ель, бук и др.	Хорошая обрабатываемость, низкая стоимость	Склонность к деформации (коробление, усушка), низкая прочность
Алюминиевые сплавы по ГОСТ 2685—75: АЛ3В, АЛ7В, АЛ10В, АЛ14В, АЛ12 (для крупных моделей)	Хорошая обрабатываемость, коррозионная стойкость, небольшая плотность	Низкая прочность и высокая стоимость
Серый чугун не ниже марки СЧ15 по ГОСТ 1412—85	Высокая прочность, хорошая обрабатываемость	Склонность к коррозии, большая плотность
Стали: 15, ..., 50 по ГОСТ 1050—74; Ст0, ..., Ст6 по ГОСТ 380—71	Высокая прочность и малая шероховатость обработанной поверхности	Склонность к коррозии, большая плотность
Бронза и латунь	Высокая прочность и малая шероховатость обработанной поверхности, неокисляемость	Большая плотность и высокая стоимость
Свинцово-сурьмянистые сплавы 5 % Zn; 15 % Sb; остальное Pb или 15 % Sb; 14 % Bi, остальное Pb	Хорошая обрабатываемость	Большая плотность и высокая стоимость, низкая прочность
Гипс кальцинированный или строительный (50 % гипса, 50 % воды)	Простота изготовления модельного комплекта, низкая стоимость	Высокая шероховатость обработанной поверхности, низкая прочность
Цемент (50 % цемента, 50 % кварцевого песка)	Простота изготовления модельного комплекта	То же
Пластмассы ЭД-20 и ЭД-16 по ГОСТ 10587—84, акриловые самотвердеющие составы	Высокая прочность, простота изготовления модельного комплекта, не требующая, практически, обработки резанием	Токсичность
Пенополистирол	Простота изготовления модельного комплекта, низкая плотность	Разовое использование (газифицируются)

Примечания: 1. Ориентировочная стоимость изготовления модельного комплекта из дерева, алюминиевых сплавов, чугуна, стали относится как 1 : 8 : 12 : 15.

2. Составы приведены в массовых долях.

27. Примерный срок эксплуатации модельных комплектов до капитального ремонта в зависимости от материала комплекта [1]

Материал модельного комплекта	Максимальное число формовок для модельных комплектов					
	мелких	средних	крупных	мелких	средних	крупных
	Ручная формовка			Машинная формовка		
Дерево	500	250	100	1 000	500	300
Алюминий	—	—	3000	50 000	30 000	10 000
Чугун	—	—	—	100 000	75 000	—
Сталь	—	—	—	100 000	—	—
Бронза и латунь	—	—	—	—	150 000	—
Свинцово-сурьмянистый сплав	500	—	—	3 000	—	—
Гипс	250	100	—	1 000	500	—
Цемент	—	350	—	—	1 000	—
Пластмасса	—	—	—	50 000	30 000	—
Пенополистирол	100	20	2	200	—	—

8 мм. Может быть использована отожженная проволока. Каркасы изготовляют: литые — из чугуна СЧ10, СЧ15, СЧ20; сварные — стального прутка или уголка; трубчатые — из труб стальных водопроводных.

Жеребейки используют для укрепления стержней при сборке форм. Материал жеребейки тот же, что и материал отливки, т. е. при литье медных сплавов применяют медные жеребейки, при литье алюминиевых сплавов — алюминиевые жеребейки. Они могут быть изготовлены литьем или штамповкой; часто используют сборные жеребейки, состоящие из одной, двух или четырех стоек и пластин.

3. Защитные и огнеупорные покрытия форм и стержней

Универсальные покрытия для литейных форм, которые давали бы нужный эффект при всех видах литья, не разработаны. Все известные покрытия проявляют свое положительное действие только в определенном интервале температур при данном составе формовочной смеси и при конкретном виде литья.

Зерновая основа покрытия должна соответствовать заливаемому сплаву и материалу формы; основные оксиды сплава и формовочной смеси нельзя сочетать с кислой зерновой основой покрытия и наоборот. Только покрытия из нейтральных огнеупорных материалов можно применять в сочетании с формами, материал которых содержит кислые или основные окислы. Недопустимо также применение в составе краски двух наполнителей, которые могут вступать между собой в химическое взаимодействие. Огнеупорность припыла или наполнителя краски должна быть выше температуры заливаемого сплава. Исключение составляют наполнители активных красок, которые должны легко расплавляться под действием теплоты залитого металла, а также добавки, предназначенные для получения стекловидного легкоотделяемого пригара.

Для приготовления противопригарных красок не рекомендуется использовать особо мелкие наполнители, так как их использование приводит (из-за большой удельной поверхности) к повышению расхода связующего, а покрытие после сушки часто растрескивается и отслаивается. Поэтому, на-

пример, черный графит применяют совместно с более крупным серебристым графитом (отношение массовых долей графитов соответственно 2 : 1 или 3 : 1). Для снижения склонности к образованию трещин и повышения газопроницаемости слоя в графитовые краски добавляют молотый кокс.

Во всех случаях рекомендуется применять светлые огнеупорные покрытия. Светлая форма имеет более опрятный вид, лучше просматривается при сборке и меньше подвержена разрушению под действием тепловой радиации жидкого металла. Для предотвращения образования поверхностных дефектов отливок наряду с огнеупорной составляющей в краску вводят теплоизоляционные материалы.

Выбор дисперсионной среды (растворителя) также зависит от принятой технологии формы и свойств смесей. Если формы (стержни) просушиваются в сушилках или подсушиваются, в качестве дисперсионной среды целесообразно применять воду. Водные краски наиболее термостойки и технологичны, так как они не токсичны, негорючи и обладают высокой живучестью.

При изготовлении форм из жидкостекольных смесей по CO_2-процессу, самотвердеющих и наливных (НСС) применять водные краски нерационально, поскольку их необходимо подсушивать, что удлиняет технологический цикл и снижает эффективность прогрессивной скоростной технологии. При выборе органического растворителя учитывают скорость его испарения, токсичность и взрывоопасность. Если в состав краски входят два или несколько растворителей, то они должны быть взаимно растворимы.

Стабилизирующее вещество должно растворяться в выбранном растворителе без осадка и сворачивания. Некоторые из веществ обладают одновременно связующими и стабилизирующими свойствами и хорошо сочетаются с растворителем. Однако использовать эти вещества для сокращения числа компонентов краски не всегда рекомендуется. Например, достаточную седиментационную устойчивость и прочность водной краски можно получить, добавляя только глину. Но повышенное содержание глины снижает огнеупорность краски и повышает ее склонность к образованию трещин после просушки. Поэтому в данном случае целесообразнее заменить часть глины каким-либо органическим связующим или стабилизатором. Аналогично поступают и при разработке составов быстросохнущих красок, если выбранное вещество (стабилизатор-связующее) не полностью отвечает требованиям к покрытиям, особенно по термостойкости.

Связующие материалы должны также полностью растворяться в выбранном растворителе и сочетаться со стабилизатором. Не сочетаются поливинилбутираль с пульвербакелитом ПК-104 — при сливании спиртовых растворов этих веществ выпадает осадок. Поливинилбутираль в спиртовых растворах хорошо сочетается с канифолью, а также с этилсиликатом. Карбоксиметилцеллюлоза хорошо сочетается с водорастворимыми связующими: сульфитно спиртовой бардой, сульфитно-дрожжевой бражкой, патокой и гидролом. Сульфитно-спиртовая барда и сульфитно-дрожжевая бражка являются поверхностно-активными веществами и хорошо разжижают суспензии, но вместе с тем снижают седиментационную устойчивость красок. Поэтому в красках, содержащих тяжелые наполнители (циркон, магнезит), применять барду и бражку не рекомендуется.

Для повышения седиментационной устойчивости краскам придают тиксотропное состояние. Тиксотропия значительно улучшает технологические свойства красок. Краски, обладающие тиксотропией, не стекают с кисти, легче удерживаются на вертикальных поверхностях без подтеков (причем более толстым слоем), более устойчивы против расслоения. Тиксотропные свойства краскам придают натриевые бентониты. В красках, содержащих каолиновые глины, тиксотропность появляется при добавлении едкого натра и повышении pH раствора. Тиксотропию водных красок повышают созданием в них нейтральной или щелочной среды. Тиксотропность водным краскам придают и водорастворимые силикаты щелочных метал-

лов общей формулы $(M_2O)_n \cdot SiO_2$, где M — щелочной металл.

Краски, содержащие спиртовой раствор поливинилбутираля, приобретают тиксотропные свойства при добавлении к ним марганцевокислого калия. В краски, приготовленные на 2 %-ном растворе поливинилбутираля, достаточно ввести 3 % (мас. доля) марганцевокислого калия в жидкую среду.

При выборе связующего для быстросохнущих красок следует отдавать предпочтение материалам, полимеризующимся при комнатной температуре и наиболее термостойким.

Растворители должны быть такими, чтобы приготовленная краска хорошо смачивала формовочную смесь и, следовательно, хорошо проникала в стенки формы, прочно сцеплялась с ней и не отслаивалась после сушки. Краска, которая не смачивает материал формы, не проникает глубоко в поры между зернами смеси и слабо сцепляется с ее поверхностью. Интенсивность проникновения водных красок, содержащих шесть частей глины и четыре части сульфитно-спиртовой барды, зависит от способности красок смачивать пленки связующего материала, которые обволакивают зерна смеси. При этом наибольшее количество водной краски поглощается поверхностью жидкостекольных форм, так как пленки жидкого стекла хорошо смачиваются водой, но при контакте с краской не разбухают и размер пор не сокращается. Пленки сульфитно-спиртовой барды и связующего КВС-2 набухают в воде, поступающей с краской, и размер пор сокращается. В связи с этим смеси, содержащие такие связующие, плохо впитывают водные краски.

Поскольку все органические растворители в известной степени токсичны, необходимо при их выборе учитывать интенсивность воздухообмена на рабочих местах и степень механизации процесса окрашивания.

Оптимальная вязкость водных красок, при которой обеспечивается прочное сцепление их с поверхностью форм, составляет для цирконовых смесей 50—60 с (по ВЗ-3) и дистенсиллиманитовых 75—85 с.

Для стабилизации красок используют высокомолекулярные вещества (КМЦ, альгинат натрия и др.), образующие при небольшой концентрации (3—5 %) структурированные растворы вязкостью 20—25 с. Для приготовления быстросохнущих красок применяют 4 %-ный раствор поливинилбутираля в спирте вязкостью 17—20 с. Плотность цирконовых красок, приготовленных на этом стабилизирующем растворе, 1800 — 2000 кг/м^3 при вязкости 30—55 с.

Водные краски применяют главным образом для форм и стержней, подвергаемых сушке, в отдельных случаях — для форм и стержней из самотвердеющих смесей с поверхностной подсушкой слоя краски. Составы водных противопригарных красок с органическими связующими материалами для различных цветных сплавов приведены в табл. 28.

Водные противопригарные краски с неорганическими связующими — (табл. 29) применяют главным образом при литье массивных отливок из медных сплавов. Характерная особенность этих красок — наличие связующего материала в виде водных растворов сульфатов алюминия и магния, а также триполифосфата натрия, которые придают краскам высокую термостойкость. Эти связующие материалы в процессе разложения при 700—1000 °С прочно спекаются в химически инертные к окислам металла состояния (это и обеспечивает термостойкость краски). Упрочнение слоя краски происходит после испарения влаги при 100—200 °С, поэтому окрашенные формы и стержни подвергают сушке при этой температуре. Краски на неорганическом связующем приготовляют из паст (густотертых красок) — пастообразных композиций ТБ-П и ТБ-ПК (ПТУ 2-043-441—73) и порошкообразной композиции ПК-Т-1 (ПТУ 2-043-443—74).

В табл. 30 приведены составы самотвердеющих водных красок, которые не требуют подсушки. В качестве связующего материала в эти краски добавляют сульфигно-спиртовую барду. Окислителем связующего является добавка персульфата аммония $[(NH_4)_2S_2O_8]$, который придает краске способность к самотвердению. Для

28. Водные противопригарные краски с органическими связующими материалами [10, 73]

Компоненты краски	Содержание компонента, % (мас. доля)	Компоненты краски	Содержание компонента, % (мас. доля)
Отливки из медных сплавов		*Отливки из алюминиевых и медных сплавов*	
1. Молотый тальк	31	3. Молотый тальк	61
Аморфный графит	30	Бентонит	4
Бентонит	3	Вода	35
Патока (плотность 1300 кг/м³)	3	4. Молотый тальк	92,4
Вода	33	Бентонит	1,8
2. Графит	54,4	Декстрин	3,4
Бентонит	3,4	Связующие марки ДП	2,4
Пектиновый клей	3	Вода	36 *
Мылонафт	0,2	5. Молотый тальк	92,5
Вода	39	Бентонит	3,1
		Крахмалит	1,6
		Связующие марки ДП	2,8
		Вода	35 *

* Сверх 100 %.

Примечания: 1. Плотность приведенных красок 1350—1400 кг/м³.
2. Для предотвращения брожения в каждые 100 кг краски вводят 40 см³ антисептической добавки — формалина.

29. Состав [% (мас. доля)] водных противопригарных красок с неорганическими связующими материалами [10, 73]

Наполнитель			Связующий материал				Растворитель				Плотность краски, кг/м³
			Водные растворы					Водный раствор ПВС или КМЦ вязкостью по ВЗ-4, с			
Циркон	Дистенсиллиманит	Жидкое стекло	сульфата алюминия плотностью 1250 кг/м³	сульфата магния плотностью 1200 кг/м³	триполифосфата натрия плотностью 1150 кг/м³	Бентонит	Вода	20—22	35—40	50—55	
68	—	5	—	—	—	—	—	27	—	—	1920—1950
68	—	—	20	—	—	2	10	—	—	—	1950—2000
68	—	—	—	15	—	—	—	—	17	—	1900—1950
—	45	—	—	15	—	—	—	40	—	—	1450—1500
68	—	—	—	—	15—20	—	—	—	—	12—17	1900—1950

30. Составы [% (мас. доля)] самотвердеющих водных противопригарных красок [73]

Номер краски	Содержание, % (мас. доля)							Плотность краски, кг/м³
	наполнителя		связующего материала КБЖ	добавок			растворителя (воды)	
	циркона	скрытокристаллического графита		технической мочевины	окиси цинка	персульфата аммония		
1	72,5—73,5	—	8,0	0—5,0	0—0,5	4,0	14—19	2000—2200
2	50							1800—2000
3	—	33,0—33,5	10,0	10—15	0—0,5	2,5	25—30	1350—1400
4		46,0—50,0						

Примечание. В краску № 2 добавляют 22,5—23,0 % (мас. доля) пылевидного кварца; в краску № 3 — 16,5 % (мас. доля) кристаллического графита.

получения требуемой плотности при оптимальном количестве воды в состав краски вводят добавку технической мочевины. В отличие от обычных водных красок, из которых при сушке вода испаряется, из этих красок вода не испаряется, а лишь химически связывается. Поэтому в отдельных случаях, во избежание вскипов жидкого металла, формы и стержни подсушивают. Водные самотвердеющие покрытия применяют в случае изготовления форм и стержней из самотвердеющих смесей.

Самовысыхающие краски приготовляют на быстроиспаряющихся неорганических растворителях, для возгонки которых необязательно применять сушку. Самовысыхающие покрытия наносят на формы и стержни, изготовляемые из самотвердеющих смесей. Состав самовысыхающей противопригарной краски, % (мас. доля): талька 42; поливинилбутираля 2,5; этилового спирта 55,5. Плотность краски 1750—1850 кг/м³. В качестве связующего материала в состав красок вводится поливинилбутираль, в качестве растворителя — этиловый спирт. В тех случаях, когда необходимо получить отдельные поверхности отливок с особо низкой шероховатостью, используют натирочные пасты, содержащие, % (мас. доля) [73]:

для медных и алюминиевых сплавов — молотого талька 15; кристаллического графита 70; формовочной глины 15; воды (сверх 100 %) 20—25;

для магниевых сплавов — молотого талька 90—93; формовочной глины 2—5; борной кислоты 5; воды (сверх 100 %) 30—40.

Защитные покрытия кокилей разнообразны как по составу, так и по назначению. Наиболее часто используют облицовки и термоизоляционные краски.

Облицовки представляют собой достаточно толстые слои формовочных смесей, наносимых непосредственно на шероховатую поверхность кокилей. Облицовку из песчано-глинистой массы применяют главным образом для утепления отдельных участков крупных кокильных отливок. В утепляемых местах стенок кокиля выполняют углубления, соответствующие толщине наносимого слоя, и предусматривают в этих местах сквозные отверстия для отвода газа.

Облицовку из сыпучих песчано-смоляных смесей вдувают в зазор, обра-

31. Кокильные краски для литья алюминиевых сплавов

Компоненты краски	Массовая доля, г	Температура кокиля, °С
1. Трудновоспламеняющееся минеральное масло	500	
Керосин	200	60—200
Канифоль	30	
Алюминиевый порошок	10	
2. Цинковые белила (сухие)	15	
Асбестовая пудра	5	150—200
Жидкое стекло	3	
Вода	77	
3. Асбестовый порошок	8,7	
Мел	17,5	150—200
Жидкое стекло	3,5	
Вода	10,3	

Примечания: 1. Краски № 1 и 2 применяют для покрытия рабочих поверхностей, краска № 3 — для покрытия литников.

2. Краски № 1 и 2 наносят с помощью пульверизатора.

вующийся между нагретой моделью и кокилем. Толщина облицовки составляет 4—12 мм.

Для приготовления кокильных теплоизоляционных красок используют наполнители с возможно меньшей теплопроводностью и с коэффициентом линейного расширения в интервале рабочих температур, близких к коэффициенту расширения материала формы.

Материал с высоким коэффициентом линейного расширения, такой как пылевидный кварц, используют в сочетании с теплоизоляционными материалами, которые частично компенсируют тепловое расширение кварца. Графит менее других материалов пригоден для приготовления защитных покрытий, так как он обладает высокой теплопроводностью, а следовательно, плохо предохраняет металлическую форму от термических воздействий при заливке расплава.

Составы кокильных красок для литья алюминиевых сплавов приведены в табл. 31, для литья магниевых сплавов — в табл. 32 [72].

Краски, снижающие шероховатость поверхности отливок из алюминиевых и магниевых сплавов при литье в кокиль (табл. 33 и 34) [72], содержат более дисперсные наполнители, чем теплоизолирующие краски. Молотый асбест как грубодисперсный материал в этих красках не применяют, а скрытокристаллический графит за-

32. Кокильные краски для литья магниевых сплавов

Номер краски	Массовая доля, %					Область применения
	прокаленного асбеста	мела	жидкого стекла	борной кислоты	воды	
1	—	—	3,0	4,0	78,0	При получении отливок сложной конфигурации
2	—	5,0	2,0	2,0	86,0	При получении средних и мелких отливок
3	15,0	10,0	3,0	4,0	68,0	Утепление выпоров и литников
4	6,0	—	2,0	2,5	84,5	Окраска выпоров и литников
5	25,0	2,0	6,5	—	100	Окраска прибылей и литников

Примечание. Краски также содержат, % (мас. доля): № 1 — окиси магния 15; № 2 — талька 5; № 4 — окиси цинка 5.

33. Составы красок, снижающие шероховатость поверхности отливок из алюминиевых сплавов

Компоненты краски	Массовая доля, %	Область применения
1. Окись цинка Жидкое стекло Вода	4,0—6,0 1,5—2,0 Остальное	Для рабочих поверхностей форм
2. Окись цинка Графит коллоидальный Жидкое стекло Вода	4,0—5,0 0,8—1,5 1,2—1,5 Остальное	Для рабочих поверхностей форм и стержней, когда имеются глубокие полости и малые уклоны

34. Краски, снижающие шероховатость поверхности отливок из магниевых сплавов

Компоненты краски	Содержание, % (мас. доля)	Область применения
1. Графит коллоидальный Борная кислота Жидкое стекло Вода	1,8 5,5 2,7 Остальное	Для рабочих поверхностей кокилей при литье тонкостенных отливок
2. Тальк белый Борная кислота Жидкое стекло Вода	8,5 2,5 2,5 Остальное	Для рабочих поверхностей кокилей при литье толстостенных отливок
3. Мел тонкомолотый Борная кислота Жидкое стекло Вода	8,5 2,5 2,5 Остальное	

меняют коллоидальным. Для приготовления красок, снижающих шероховатость поверхности отливок, применяют наполнители с размером частиц не более 10 мкм.

При литье алюминиевых сплавов поверхности кокилей окрашивают также суспензией, которая состоит из жидкого стекла и оксида железа. Такое покрытие выдерживает 150—170 заливок.

4. Особенности регенерации отработанных песков и смесей

Для выпуска 1 т отливок, в зависимости от массы и конфигурации, размера опок и прочих факторов, расходуют 4—12 т формовочных смесей и около 1 т стержневых. Для снижения расхода свежих песков применяют регенерат, получаемый из отработанных формовочных и стержневых смесей. Используются механические, пневматические, термические, гидравлические и комбинированные методы регенерации отработанных смесей. Механические методы — самые простые и экономичные, комбинированные — наиболее сложные и дорогостоящие.

Выбор способа регенерации определяется составом отработанной смеси и требованиями, предъявляемыми к регенерату. Регенерируемый песок должен, как правило, соответствовать

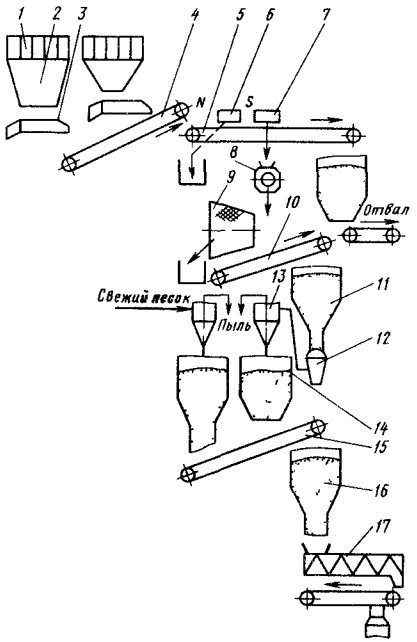


Рис. 1. Схема механической регенерации холоднотвердеющих смесей:

1 — выбивная решетка, *2* — бункер, *3* — вибропитатель, *4*, *5*, *10* и *15* — ленточные конвейеры, *6* — электромагнитный железоотделитель, *7* — сбрасыватель, *8* — роторная дробилка, *9* — полигональное сито, *11*, *14* и *16* — бункера, *12* — пневмонасос, *13* — приемное устройство, *17* — смеситель

требованиям ГОСТ 2138—84 на кварцевые пески.

Регенерации подвергают отработанные смеси с участков выбивки форм и стержней, в том числе из гидрокамер, а также отработанные смеси из различных точек литейного цеха.

Механический способ регенерации применяют для восстановления песка из отработанных песчано-глинистых и холоднотвердеющих смесей. Процесс регенерации после выбивки форм состоит из магнитной сепарации, дробления, оттирки пленок с поверхности зерен, грохочения, классификации (обеспыливания) и охлаждения регенерата (рис. 1).

Типовая технология механической регенерации песков из отработанных холоднотвердеющих смесей на синтетических смолах содержит следующие операции (после обработки на выбивающей решетке): магнитную сепарацию, дробление, оттирку, грохочение, охлаждение, рассеивание и обеспыливание. Применяются механические регенерационные установки производительностью, т/ч: 5, 10, 20, 30, 40 и 60.

Процесс пневморегенерации является частным случаем механической регенерации и характеризуется обязательным наличием операций оттирки пленок, осуществляемой многоступенчатыми пневморегенератами.

Термический способ применяют для регенерации песка из отработанных смесей на смоляных связующих, в которых инертные пленки не отделяются полностью от зерен песка при оттирке и не размокают в потоке воды.

Термическую регенерацию осуществляют по схеме: выбивка — магнитная сепарация—грохочение—дробление—обжиг—охлаждение (рис. 2). Для обжига смеси при 750—900 °С применяют вертикальные многоподовые барабанные печи или установки кипящего слоя.

Песок, поступивший из печи обжига при температуре, примерно равной 550 °С, попадает в барабан, продуваемый холодным воздухом, где происходят дожигание пленок и охлаждение песка. Для ускорения охлаждения песок обрызгивают водой, чтобы на выходе понизить температуру регенерата до 60—85 °С. Термическую регенерацию применяют также при обработке отработанной смеси, содержащей остатки оболочковых стержней.

Процесс гидрорегенерации включает в себя сухую или мокрую подготовку отработанной смеси к регенерации (дробление, магнитную сепарацию, грохочение), первичную промывку (классификацию), оттирку пленок, вторичную промывку, обезвоживание и сушку регенерата. Гидравлический способ используют в основном при регенерации песка из песчано-глинистых смесей и из продуктов гидровыбивки.

При мокрой регенерации наиболее полно удаляют из песка глинистую

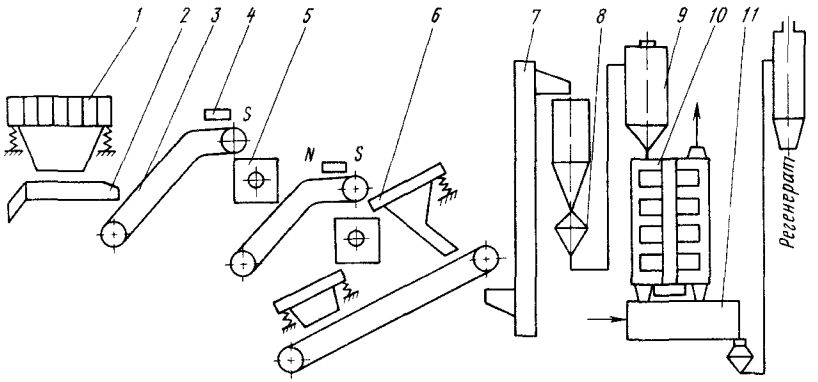


Рис. 2. Схема термической регенерации холоднотвердеющих смесей:
1 — выбивная решетка; *2* — вибропитатель; *3* — ленточный конвейер; *4* — магнитный сепаратор; *5* — роторная дробилка; *6* — грохот; *7* — элеватор; *8* — насос; *9* — бункер; *10* — печь обжига; *11* — охладитель

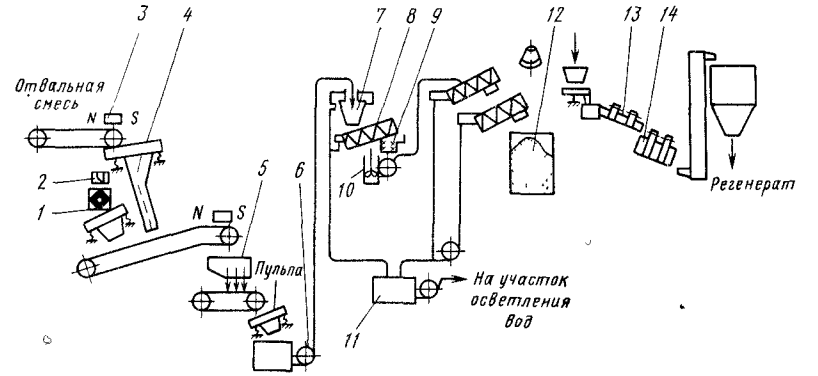


Рис. 3. Схема гидравлической регенерации смесей:
1 и *2* — дробилки; *3* — электромагнитный железоотделитель; *4* — грохот; *5* и *11* — баки; *6* — насос; *7* — конический классификатор; *8* — спиральный классификатор; *9* — оттирочная машина; *10* — мешалка; *12* — дренажный закром; *13* — барабанное сушило; *14* — барабанный охладитель

составляющую. Благодаря предотвращению пылеобразования обеспечиваются лучшие санитарно-гигиенические условия труда в литейных цехах по сравнению с другими способами. Недостатком гидравлической регенерации является необходимость в сушке и последующего охлаждения регенерата. Схемы гидравлической регенерации смесей показаны на рис. 3 и 4.

Комбинированные методы регенерации используют при переработке отработанных смесей сложного состава.

Производительность (т/ч) оборудования для регенерации песков из отработанных смесей:

Оттирочные машины 14811	10
Чаны 14711 для перемешивания пульпы	5
Бесконтактные водяные противоточные охладители модели . . .	5

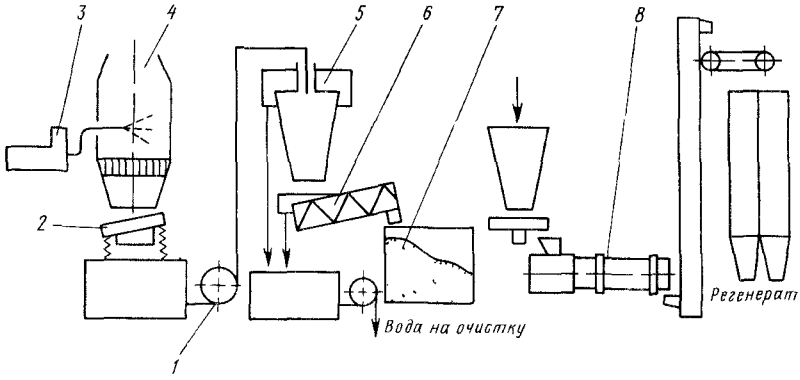


Рис. 4. Схема регенерации отработанных смесей, поступающих из гидрокамер: *1* — насос; *2* — сито; *3* — гидромонитор; *4* — гидрокамера; *5* — конический классификатор; *6* — спиральный классификатор; *7* — дренажный закром; *8* — барабанное сушило

Глава VI
ПЛАВКА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

Плавкой называют комплекс физико-химических процессов, протекающих в плавильных печах при переработке заранее подготовленных материалов. Целью плавки является получение при определенной температуре сплава в жидком состоянии заданного химического состава, обладающего необходимыми литейными свойствами.

Технология плавки содержит различные операции, проводимые в течение времени, регламентируемого типом плавильной печи, ее вместимостью и составом сплава.

Процесс плавки целесообразно рассматривать, применяя метод системного анализа. Системами объекта являются вход, операции процесса, выход и обратная связь (рис. 1). Вход состоит из обрабатываемого материала и оборудования, на котором обработка осуществляется. И то, и другое вместе составляют процессор. Для осуществления плавки необходимо два основных элемента, образующих процессор· рабочее пространство плавильной печи и источник генерации тепловой энергии. Выход — результат процесса. Процесс (операции) превращает вход в выход [15].

Обратную связь составляют: модель воздействия, проверка соответствия, модель выхода. Моделью выхода является состав, структура и свойства сплава, которые должны быть обеспечены данным процессом.

Все процессы плавки цветных сплавов можно подразделить на монопро-

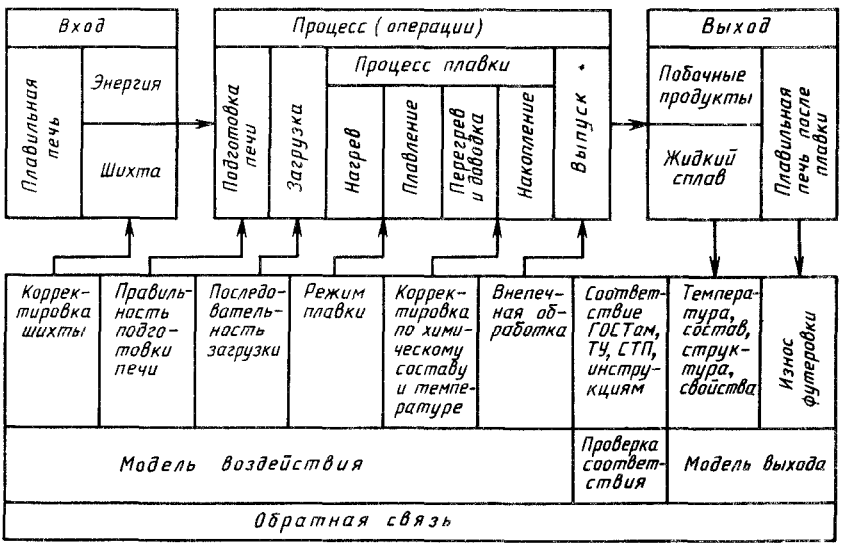


Рис. 1. Схема системного анализа плавки литейных сплавов

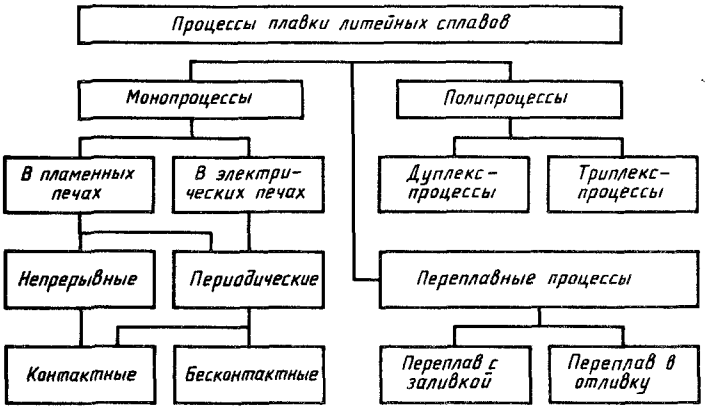


Рис. 2. Классификация процессов плавки литейных сплавов

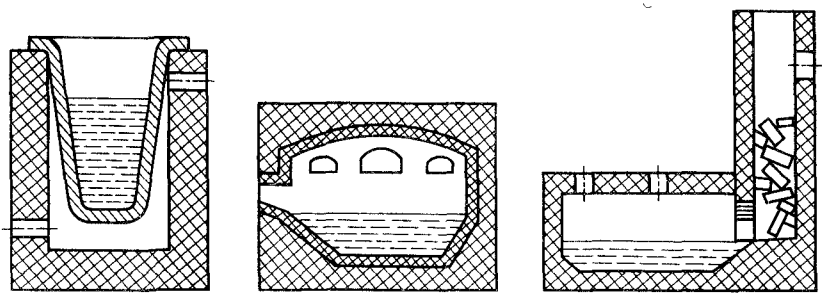
цессы и полипроцессы (рис. 2). Характерной особенностью монопроцесса, наиболее распространенного при литье цветных сплавов, является осуществление всех операций плавки в одной плавильной печи. Полипроцессная плавка или доводка металла осуществляется постадийно в двух или нескольких плавильных печах или установках. Полипроцессы применяют в крупносерийном и массовом производстве отливок и особенно при очень высоких требованиях к сплавам по наличию в них вредных примесей.

Параметрами процесса плавки являются температура и давление, которые зависят от типа плавильного агрегата и назначения (химического состава) сплава. Температурные интервалы (°С) плавки цветных сплавов на основе: цинка — 420—480, магния — 650—720, алюминия — 720—780, меди — 1000—1250, никеля — 1400—1650, титана — 1650—1800.

1. Классификация плавильных печей

По виду используемой для плавки сплавов энергии плавильные печи подразделяются на пламенные и электрические. Пламенные печи (рис. 3) подразделяют на тигельные (Т), отражательные (О), шахтно-ванные (ШВ).

В электрических печах электро-



а) *б)* *в)*

Рис. 3. Схемы топливных плавильных печей:
а — тигельная; *б* — отражательная; *в* — шахтно-ванная

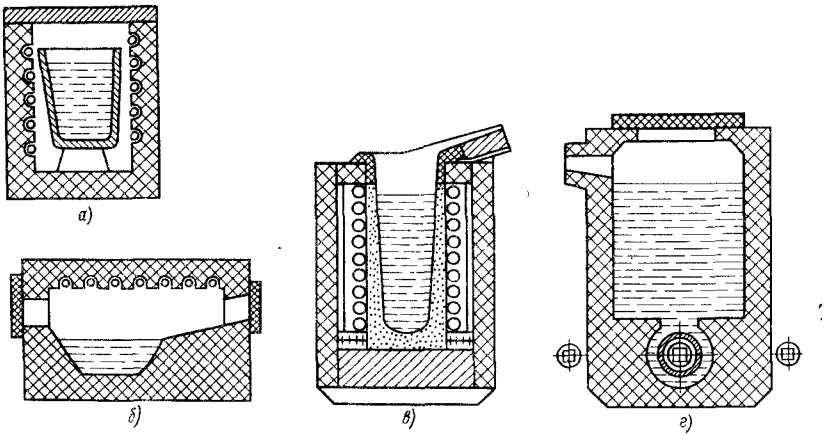


Рис. 4. Схемы электрических плавильных печей сопротивления и индукционных: *а* — тигельная; *б* — отражательная; *в* — индукционная тигельная; *г* — индукционная канальная

энергия преобразуется в тепловую энергию, которая передается в рабочую камеру с помещенными в ней нагреваемыми материалами. Электрические печи классифицируют по способу преобразования электрической энергии в тепловую и передачи ее к нагреваемым материалам; различают печи (рис. 4 и 5): сопротивления, индукционные, электродуговые, плазменные, электрошлаковые, электронно-лучевые.

Условные обозначения электрических печей приведены на рис. 6.

Печи сопротивления применяются для плавки свинцовых, оловянных, цинковых, магниевых и алюминиевых сплавов.

В индукционных плавильных печах нагревают электропроводящие материалы, помещая их в переменное электромагнитное поле. По конструктивному исполнению индукционные печи подразделяются на тигельные и канальные.

Электродуговые печи по принципу передачи тепла подразделяются на печи косвенного и непосредственного нагрева.

В печах косвенного нагрева теплота передается излучением непосредственно от дуг и футеровки (см. рис. 5, *а*); в печах непосредственного нагрева — от дуги (см. рис. 5, *в* и *г*). Среди дуговых вакуумных печей наибольшее распространение получили печи с расходуемым электродом при переплаве в водоохлаждаемый кристаллизатор тугоплавких и химически активных цветных металлов и сплавов на их основе.

В основу электронно-лучевого переплава (ЭЛП) металлов положен принцип преобразования электрической энергии в тепловую вследствие бомбардировки поверхности металла потоком свободных электронов.

Для осуществления ЭЛП необходимо иметь герметичную камеру, в которой создается вакуум (давление остаточных газов не более $7 \cdot 10^{-2}$ Па), поток свободных электронов и ускоряющее электрическое поле. Источником свободных электронов в электронной пушке является термокатод — нагретый до высокой температуры металлический материал, характеризующийся низкой работой выхода электронов. Имеются различные технологические схемы ЭЛП (см. рис. 5, *д*, *е*, *и*).

Среди разнообразных схем, предлагаемых для плавки металлов с помощью плазмы, наиболее перспективным является переплав в плазменно-

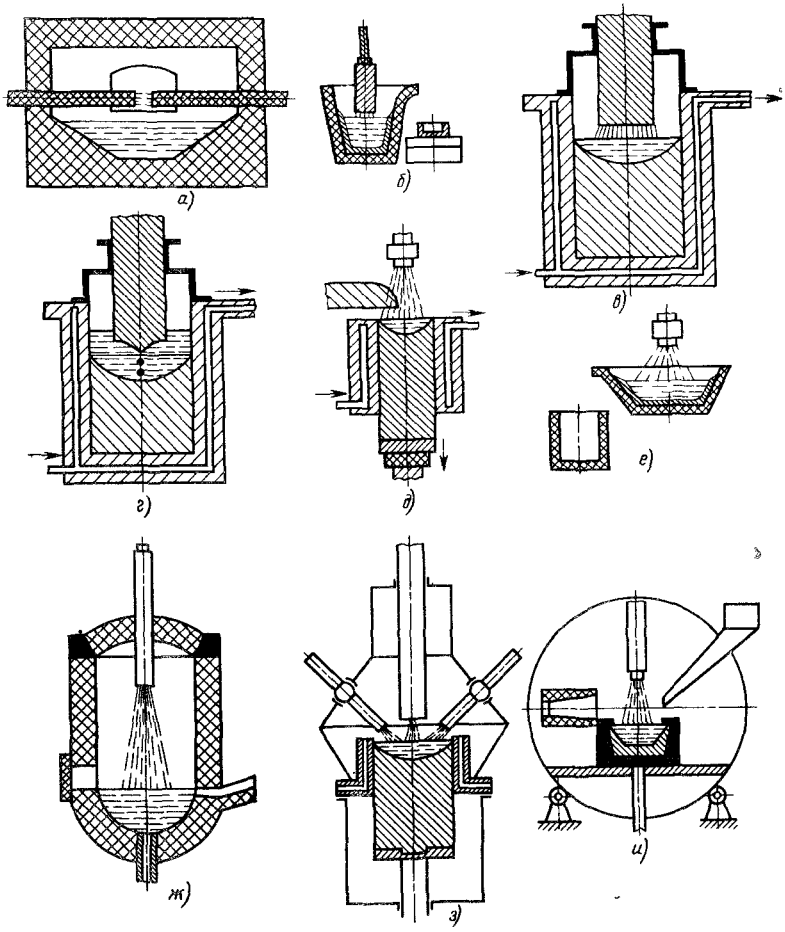


Рис. 5. Схемы специальных конструкций электрических плавильных печей: *а* — электродуговой косвенного действия, *б* и *в* — электродуговых для плавки соответственно в гарнисажном тигле и водоохлаждаемом кристаллизаторе, *г* — электрошлаковой печи; *д* и *е* — электронно-лучевой для плавки соответственно в водоохлаждаемом кристаллизаторе и тигле; *ж*, *з*, *и* — плазменные для плавки соответственно в огнеупорной камере, водоохлаждаемом кристаллизаторе и тигле.

дуговых печах (ПДП), которые могут работать на постоянном и переменном токе. ПДП в основном применяют двух типов: для переплава с кристаллизацией металла в водоохлаждаемом кристаллизаторе (см. рис. 5, *з*) и с накоплением жидкого металла в огнеупорном тигле (см. рис. 5, *и*).

2. Пламенные печи

В тигельных плавильных печах предусматривают графитовые, графитошамотные, литые, чугунные или сварные стальные тигли, в которых расплавляют шихтовые материалы и доводят сплавы до заданного химиче-

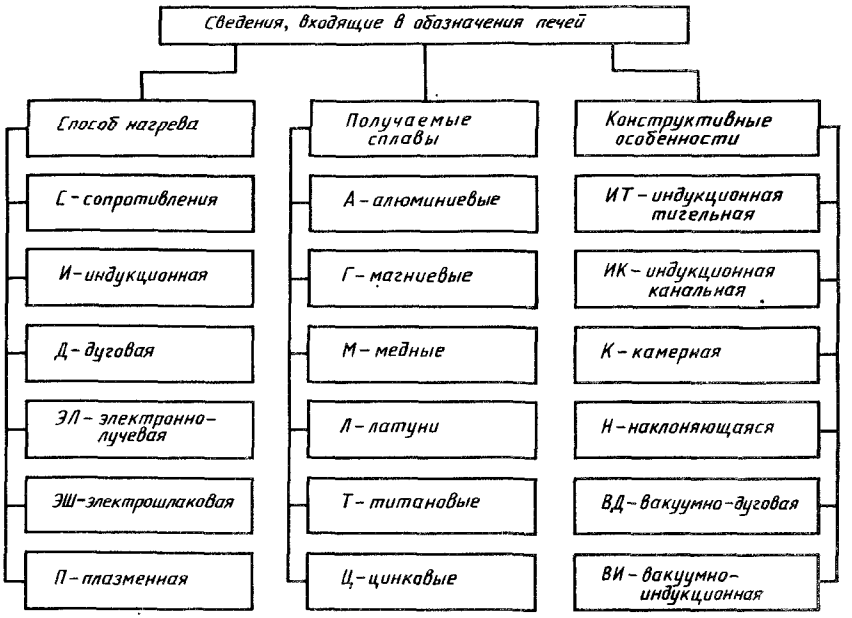


Рис. 6. Условные обозначения электрических печей

ского состава.

Стационарные и поворотные тигельные печи применяют для плавки, выдержки и подогрева оловянных, свинцовых, цинковых, магниевых, алюминиевых и медных сплавов.

Преимущества тигельных печей:

простота конструкции, надежность в эксплуатации;

хорошая маневренность при переходе от плавки сплава одного химического состава к сплаву с другим составом;

удобство проведения различных технологических операций (легирования, рафинирования, дегазации, модифицирования);

отсутствие контакта с продуктами сжигания топлива, что обеспечивает минимальный угар компонентов сплава и снижает возможность перехода *вредных газообразных примесей в металл*;

возможность применения для разливки металла отдельными порциями дозаторов, манипуляторов, роботов.

Недостатки тигельных печей:

малая вместимость (100—500 кг), невысокая производительность, повышенный расход топлива;

неудобство в разливке металла в случае необходимости вынимать тигель из печи или производить разбор разливочной ложкой (небольшим ковшом), что не только удлиняет продолжительность разливки, но и ухудшает качество металла (особенно последних порций), а следовательно, и отливок.

В качестве топлива применяют, как правило, газ, реже — мазут. Для сжигания газа применяют горелки низкого давления.

Для плавки магниевых сплавов применяются стальные тигли, для плавки оловянных, свинцовых, алюминиевых сплавов — чугунные, для плавки медных и алюминиевых сплавов — графитошамотные (*8—12 % графита*, 20—25 % шамота, 50—67 % огнеупорной глины). Вместимость графитошамотных тиглей — 0,5—500 кг. Условная единица вместимости — «марка» (объем, занимаемый 1 кг расплавлен-

ной меди). Зная плотность расплавляемого сплава, сопоставляя ее с плотностью меди, определяют массу сплава в тигле.

Недостатком металлических тиглей является растворение железа во время плавки и переход его в состав сплава, что ухудшает качество сплава. С целью предотвращения этого процесса внутреннюю поверхность тиглей и плавильного инструмента окрашивают или обмазывают специальными составами. Наибольшее распространение получила краска состава, % (мас. доля): оксида цинка 50, отмученного мела 50, жидкого стекла 5, воды 100. В состав краски могут входить коллоидный графит, огнеупорная глина и тальк. Перед нанесением краски поверхность подогревают до 80—90 °С.

В состав обмазки для тиглей входят магнезит, асбест и жидкое стекло. Смесь наносят на поверхность тиглей слоем толщиной 5—15 мм, высушивают и прогревают при 700—800 °С.

Для пламенных отражательных печей характерны повышенные вместимость (до 12—15 т) и производительность, возможность использования крупногабаритной шихты при механизированной загрузке, простота обслуживания. Эти печи применяют для плавки алюминиевых, реже — магниевых и медных сплавов в цехах фасонного литья с большим годовым выпуском и в цехах заготовительного производства. Они являются частью плавильно-литейных агрегатов; плавильная печь — раздаточные тигельные печи — литейная машина.

Сведения об эксплуатации и технические характеристики применяющихся в цветнолитейном производстве пламенных печей приведены в работах [2, 39].

3. Электрические печи

Печи сопротивления. Тигельные электропечи сопротивления используют для плавки алюминиевых сплавов, масса получаемого сплава до 250 кг (табл. 1 и 2). Эти печи применяют как плавильно-раздаточные для поддержания температуры расплава перед заливкой в кокиль или другие

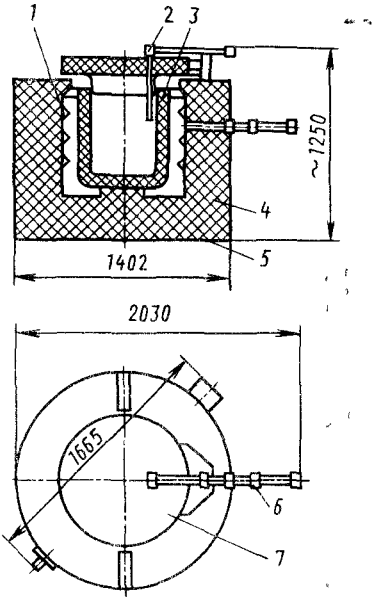


Рис. 7. Электропечь сопротивления САТ-0,16-И2:

1 — нагреватели; *2* и *6* — термопары; *3* — тигель; *4* — футеровка; *5* — кожух; *7* — крышка

формы, рафинирования и модифицирования сплавов.

Электропечи САТ (рис. 7) предназначены для рабочей температуры до 800 °С; работают на промышленной частоте 50 Гц; средний удельный расход электроэнергии 0,45—0,60 кВт·ч/кг; КПД печи 0,50—0,55.

В камерных электропечах сопротивления САК (табл. 3) применяют металлические и карборундовые нагреватели; в электропечах-миксерах САКМ — проволочные нихромовые. Эти печи работают на токе частотой 50 Гц, обеспечивая температуру 750—800 °С; расход электроэнергии 0,60—0,65 кВт·ч/кг.

В отражательных печах сопротивления нагрев шихтовых материалов и ванны расплавленного металла осуществляется нагревательными элементами, расположенными у свода печей. Шихту загружают через окна в стенах печей. После готовности ме-

1. Технические характеристики тигельных электропечей сопротивления для плавки и раздачи алюминиевых сплавов

Параметр	Модель печи						
	САТ-0,04	САТ-0,06	САТ-0,16-И2	САТ-0,16-И3	САТ-0,25-К1	САТ-0,25-И2	САТ-0,25-И3
Установленная мощность, кВт	15	17	35	36,3	50	45	44
Вместимость тигля (по алюминию), т	0,04	0,06	0,16		0,25		
Производительность по расплавлению и перегреву, кг/ч	12—15		48		60		
Масса электропечи, т	1,0		1,3	0,9	1,65	1,48	1,0
Габаритные размеры (ширина × длина × высота), мм	1202×1850×1105		1320×1930×1250	1100×1300×1300	1420×2028×1293		1200×1400×1300

Примечание. В условном обозначении печей: С — нагрев сопротивлением; *А* — для получения алюминия; Т — тигельная; число — вместимость тигля по алюминию, т; буква с числом — номер исполнения.

2. Технические характеристики плавильно-раздаточных электропечей сопротивления (наклоняющиеся)

Параметр	Модель печи	
	САТ-0,16Н-Х1	САТ-0,25Н-Х1
Установленная мощность, кВт	46,1	81
Вместимость тигля (по алюминию), т	0,16	0,25
Производительность по расплавлению и перегреву, кг/ч	76	
Масса электропечи, т	2,95	3,20
Габаритные размеры (ширина × длина × высота), мм	2400×1800×1450	2400×1800×1650

3. Технические характеристики камерных электропечей сопротивления и электропечей-миксеров для поддержания температуры алюминия и его сплавов перед раздачей их по литейным машинам

Параметр	Модель печи			
	САК-0,1-И1	4САК-0,7	САКМ-3В-И1	САКМ-16
Установленная мощность, кВт	20	50	203	240
Вместимость камеры (по алюминию), т	0,1	0,7	3	16
Масса электропечи, т	1,55	4,2	—	74
Габаритные размеры (ширина × длина × высота), мм	1570× ×2250× ×1700 (+400)	1622× ×2770× ×1895	5720× ×13990× ×7000	4830× ×7570× ×3700

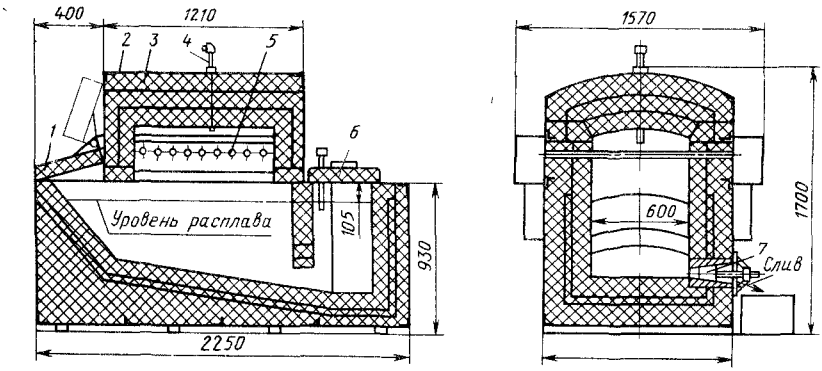


Рис 8 Камерная раздаточная электропечь типа САК-0,1-И1:
1 — крышка заливочного отверстия; *2* — кожух; *3* — футеровка; *4* — термопара; *5* — нагреватели; *6* — раздаточное отверстие; *7* — летка аварийного слива металла

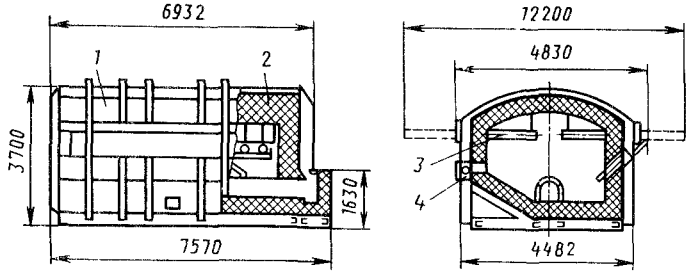


Рис. 9. Электропечь-миксер типа САКМ-16:
1 — каркас; *2* — футеровка; *3* — радиационные электронагреватели; *4* — дверца

талл сливают, наклоняя печь.

В электропечи САК-0,1-И1 (рис. 8) температура расплава поддерживается карбидно-кремниевыми электронагревателями. Заливку расплава в заливочное отверстие камеры выполняют с помощью цехового транспорта (крышка должна быть снята); раздачу расплава в машины литья под давлением — с помощью манипулятора или раздаточной ложки через разгрузочное отверстие при снятой крышке.

Электропечь работает в ручном или автоматическом режимах.

Электропечь-миксер САКМ предназначена для поддержания температуры расплавленного алюминия, рафинирования, отстаивания и раздачи его по литейным машинам (рис. 9).

Камерная электропечь имеет заливочный и переливной карманы, раздаточные летки и летку полного слива. Для удаления шлака, рафинирования и чистки ванны имеются два окна, закрытых дверцами.

Из плавильной печи жидкий алюминий через заливочный карман подается в электропечь. После окончания заливки карман закрывают крышкой. Шлак с поверхности расплава удаляют скребками через окна. Расплавленный алюминий поступает в литейную машину через раздаточные летки.

Электропечи сопротивления (вакуумные миксеры — САКМ-3В-И1; САКМ-2,0В-И1) предназначены для дегазации алюминиевых сплавов. В рабочем пространстве создается вакуум: остаточное давление 1333—133 Па. Электропечь состоит из кожуха, нагревательной камеры, систем вакуумной и водоохлаждения, нагревателей.

В барабанных электропечах температура нагрева достигает 1200—1250 °С. Печи предназначены для приготовления и выдерживания медных сплавов, а также эти печи могут быть использованы как миксеры. Для выравнивания температуры и химического состава сплава и облегчения выдачи сплава при разливке предусматривают поворот барабанных электропечей на 15—80°.

Барабанные печи удобны для получения различных сплавов, так как в процессе плавки можно ввести легирующие элементы с более низкой температурой плавления и без заметного угара (до 3%), чем, например, в дуговых электропечах.

Индукционные печи. Преимущества индукционных печей:

электрическая энергия передается непосредственно в нагреваемый металл, что значительно увеличивает скорость нагрева по сравнению с печами косвенного действия, в которых нагревается только поверхность материала;

достигаемая температура металла лимитируется только огнеупорностью футеровки печи;

упрощается конструкция печей;

возникающие в расплаве электродинамические усилия вызывают циркуляцию металла в тигле, что ускоряет процесс плавки и способствует получению металла со стабильными свойствами;

высокая производительность труда, хорошие санитарно-гигиенические и экологические условия производства.

По принципу действия индукционные печи подразделяют на две группы: печи с замкнутым магнитопроводом (канальные печи с открытым и закрытым каналом, в которых роль вторичной катушки играет коротко замкнутый канал, заполненный жидким металлом) и без замкнутого магнитопровода (тигельные печи — открытые и вакуумные). При прохождении тока через индуктор печи (первичная катушка) в заполненном жидким металлом канале индуцируется электрический ток, который разогревает металл в канале.

Индукционные плавильные канальные печи для плавки цветных металлов и сплавов работают на частоте 50 Гц; тигельные — на частоте 50—1000 Гц. Такие печи применяют для плавки цинка, алюминия, меди и сплавов на их основе.

Индукционные канальные миксеры используют для накопления, выдержки и поддержания постоянных температурных условий при разливке, рафинировании, легировании и модифицировании сплавов.

В индукционных тигельных печах получают магний, алюминий, медь и сплавы на их основе, латуни.

Для непрерывной работы целесооб-

4. Технические характеристики индукционных канальных печей ИАК для плавки алюминия и его сплавов

Параметр	Модель печи					
	ИАК-0,4/0,2-И1	ИАК-1,0/0,4-И1	ИАК-1,0/0,4-И2	ИАК-2,5/0,8-И1	ИАК-6С2	ИАК-16М1
Установленная мощность, кВ·А	400	720	630	1260	1000	2500
Номинальная вместимость, т	0,4	1,0	1,0	2,5	6,0	16,0
Производительность (расчетная) по расплавлению и перегреву металла до 750 °С, т/ч	0,575	1,8	1,3	2,1	2,5	4,0

разно использовать канальные печи, а для периодической работы и при изменении химического состава сплава — тигельные печи.

Индукционные канальные печи. В соответствии с ГОСТ 10487—75 индукционные канальные печи (ИКП) используют для плавки: алюминия и его сплавов (печи ИАК); меди и ее сплавов — латуней (ИЛК), цинка и его сплавов (ИЦК). Печи ИЦК применяют, как правило, для плавки катодного цинка.

Для повышения стойкости футеровки при эксплуатации ИКП не рекомендуется использовать загрязненные шихтовые материалы, стружку, сплавы на медной основе, в состав которых входят свинец и олово. При перерывах в работе печи в канале должен быть остаток металла для создания замкнутой вторичной цепи.

ИКП по сравнению с индукционными тигельными печами (ИТП) характеризуются более высоким КПД (на 25—30 %), в 3—4 раза повышенным значением cos φ. ИКП занимают меньше места и дешевле тигельных.

Технические характеристики индукционных канальных печей ИАК и ИЛК приведены в табл. 4 и 5.

Индукционные тигельные печи для плавки цветных сплавов на основе алюминия, магния, меди, цинка и никеля независимо от химического состава выплавляемого сплава имеют одинаковые конструкционные узлы и отличаются, в основном, производительностью и мощностью электрооборудования. Отечественная промышленность выпускает индукционные тигельные печи промышленной и повышенной частоты. Характеристики тигельных печей приведены в табл. 6 и 7.

Электропечи работают по принципу трансформатора, у которого первичной обмоткой является водоохлаждаемый индуктор, а вторичной обмоткой и одновременно нагрузкой — находящийся в тигле металл. Электропечь, снабженную комплектом оборудования, необходимым для ее работы, называют индукционной установкой или комплексом.

Индуктор печи представляет собой многовитковую водоохлаждаемую катушку, выполненную из прямоугольной медной трубки.

Для защиты металлоконструкций от полей рассеяния снаружи индуктора предусматривают магнитопроводы, набранные из листов трансформаторной стали.

На всех печах и особенно на печах

5. Технические характеристики индукционных канальных печей ИЛК для плавки латуней, меди и ее сплавов

Параметр	Модель печи						
	ИЛК-0,4С1	ИЛК-0,4/0,16-И1	ИЛК-1С2	ИЛК-1/0,4-И1	ИЛК-1,0/0,36-И1	ИЛК-1,6С2	ИЛК-1,6/0,96-И1
Установленная мощность, кВ·А	100	180	400	630	—	1000	1000
Полезная вместимость, т	0,4		1	1,0		1,6	
Производительность (для латуни) по расплавлению и перегреву металла, т/ч	0,336	0,71	1,3	1,3	1,78	4,15	4,6

вместимостью, большей одной тонны, для уменьшения потерь теплоты излучением во время плавки тигель закрывают футерованной крышкой.

Тигли для плавки алюминиевых сплавов изготовляют набивкой и спеканием шамотно-кварцитовой массы (основа Al_2O_3 и SiO_2) или из жаростойкого бетона (тонкомолотый магнезит, шамотный заполнитель и жидкое стекло).

Для плавки магниевых сплавов применяют печи со стальными сварными или литыми тиглями и крышками специальной конструкции. В печи с такой крышкой можно вести плавку в нейтральной защитной среде.

Печи для плавки медных сплавов футеруют высокоглиноземистой или кварцитовой массой.

Замену тиглей проводят при износе стенок в любом месте на 30 % во избе-

6. Технические характеристики индукционных тигельных печей ИАТ для плавки алюминия и его сплавов

Параметр	*Модель печи*								
	ИАТ-0,4/0,18-С3	ИАТ-0,4/0,25-И1	ИАТ-0,4/0,8-М4	ИАТ-1/0,4-М3	ИАТ-2,5-М1	ИАТ-2,5/1,0-И1	ИАТ-2,5/1,6-М3	ИАТ-6-М2	ИАТ-6/2,5-И1
Установленная мощность, кВ·А, не более	180	280	1000	400	1000	970	1850	1600	2500
Вместимость тигля, т	0,4	0,4	0,4	1	2,5	2,5	2,5	6,0	6,0
Производительность по расплавлению и перегреву, т/ч	0,29	0,45	0,9	0,67	1—3	1,84	2,5	2,0	4,83

7. Технические характеристики индукционных тигельных печей для плавки латуней, меди и ее сплавов

Параметр	Модель печи				
	ИЛТ-0,4	ИЛТ-1/0,4-М2	ИЛТ-2,5/1-С2	ИЛТ-10/1,6-М1	ИЛТ-25/4,0-И1
Мощность:					
установленная, кВ·А	100	400	1000	1600	4000
потребляемая, кВт	85	385	896	1260	3500
Номинальная вместимость, т	0,56	1	2,5	10	25
Производительность по расплавлению и перегреву, т/ч	0,3	1	2,6	3,32	10,5—11,7

жание выхода из строя индуктора и выброса металла из печи, для чего в печах предусматривают сигнализаторы состояния футеровки тигля. Состояние футеровки тигля контролируют визуально.

Стойкость тигля зависит от способа загрузки, периодичности чистки и проведения мелкого ремонта, а также от соблюдения технологии изготовления тигля и плавки металла.

Плавка сплавов может быть осуществлена с полным сливом металла (при этом тигель испытывает частые теплосмены) и с остаточным металлом.

Для поворота печи и слива металла индукционные тигельные печи оборудуются электрическими механизмами наклона. Угол наклона до 100°; скорость наклона регулируется.

В печах ИАТ температура расплавленного металла достигает 750 °С, в печах ИЛТ — 1200—1350 °С. Из печей серии ИЛТ в литейных цехах для цветных сплавов наиболее широко используют печи ИЛТ-1/0,4-М2 и ИЛТ-2,5/1-С2.

Плавку цинковых сплавов проводят в индукционных тигельных печах промышленной частоты типа ИАТ [30], так как индукционные канальные печи ИЦК-М1 и ИЦК-40С2 применяют в цехах заготовительного производства для выплавки катодного цинка и сплавов на его основе.

Индукционные канальные электропечи-миксеры (ИЛКМ) предназначены для перегрева меди и ее сплавов (в основном латуни), реже — сплавов на основе алюминия до температуры разливки и создания постоянных температурных условий при работе с машинами непрерывного и полунепрерывного литья (табл. 8).

Электропечь-миксер является индукционной канальной однофазной электропечью и имеет одну отъемную двухканальную индукционную единицу.

Футеровку электропечи-миксера выполняют из высокоглиноземистого кирпича, фасонных огнеупоров и кварцитной засыпки. Теплоизоляционный слой футеровки выполнен из легковесного шамота.

В конструкции электропечи-миксера предусмотрена возможность применения защитного газа. Управление и контроль за работой электропечи-миксера осуществляют с пульта и щитов управления.

Раздаточные миксеры и установки для электромагнитной дозировки цветных сплавов. В раздаточных миксерах типа ИАКР осуществляют перегрев жидких алюминиевых сплавов, под-

8. Технические характеристики индукционных канальных электропечей-миксеров

Параметр	Модель электропечи-миксера				
	ИЛКМ-2,5-С3	ИЛКМ-6-С5	ИЛКМ-6-6М	ИЛКМ-6/0,63-И7	ИАКМ-40/0,6-И1
Потребляемая мощность, кВт	262	231	337	353	
Вместимость, т:					
полезная	2,5		6		40
номинальная	4,3	8	9	9	50
Температура перегрева металла, °С			1200		750
Производительность по перегреву на 100 °С, т/ч	11,8	9,8	17	8,5	14

держание стабильной их температуры и заливку сплавов непосредственно в формы или литейные машины с помощью электромагнитного насоса. Управляемое электромагнитное перемешивание металла позволяет проводить рафинирование и модифицирование сплавов жидкими или порошкообразными флюсами. Для передачи расплава из ванны электропечи в форму или металлоприемник литейной машины служит футерованный металлопровод. Скорость раздачи металла 0,3—5 кг/с.

Техническая характеристика индукционной канальной раздаточной электропечи ИАКР-0,16-И1 (ЛК15.03.39—78)

Потребляемая мощность, кВт	32
Вместимость, т:	
полезная	0,16
полная	0,23
Температура металла при раздаче, °С	650—800
Производительность по перегреву на 100 °С, т/ч	0,32
Скорость раздачи расплава, кг/с	0,3—3,5
Удельный расход электроэнергии при перегреве на 100 °С (ориентировочно), кВт·ч/т	100
Время перегрева на 100 °С (ориентировочно), ч	0,5

Электромагнитные дозирующие установки обладают рядом преимуществ по сравнению с механическими и пневматическими: значительно улучшены санитарно гигиенические условия и безопасность труда литейщика, повышаются производительность труда и качество отливок, уменьшается инерционность системы раздачи металла, экономится металл.

Установки представляют собой (рис. 10) плавильную печь с электромагнитным насосом и пультом управления. Сменные узлы установки — тигель, канал и металлопровод — изготовляют из материалов, обладающих высокой коррозионно-эрозионной стойкостью по отношению к цветным сплавам. В качестве футеровочного материала тигля применяют любые огнеупорные смеси, пригодные для плавильных и раздаточных печей.

Технические характеристики электромагнитных дозирующих установок для разливки сплавов на основе свинца и олова приведены в табл. 9 (ТУ 2-043-1125—85); на основе алюминия и цинка — в табл. 10. Для разливки медных сплавов используют

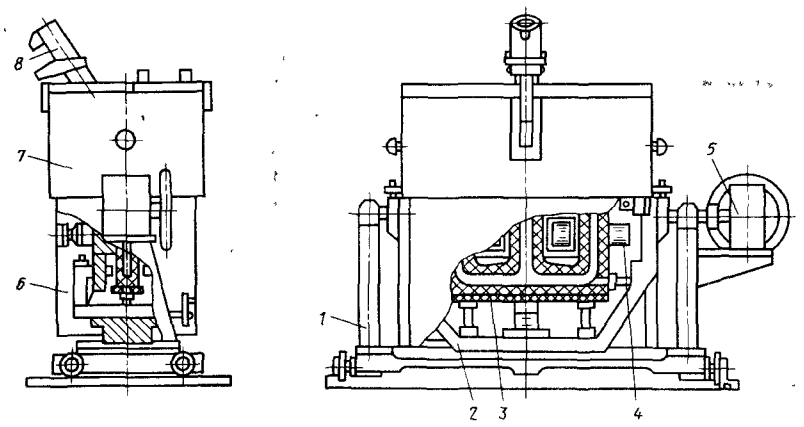


Рис. 10. Дозатор МДН-6:
1 — станина; *2* — поворотная рама; *3* — канал; *4* — индуктор; *5* — червячный редуктор; *6* — электромагнит; *7* — тигель; *8* — металлопровод

раздаточную печь ИАКР-16М-04.

Техническая характеристика электромагнитной дозирующей установки МДН-16М-04 для разливки медных сплавов

Вместимость ванны (по жидкой латуни), кг	400
Потребляемая мощность, кВт:	
при плавке	80
при выдержке металла	22
при заливке	82
Расход электроэнергии на 1 т отливок, кВт·ч	320
Напряжение, В	320/220
Частота, Гц	50
Массовая подача, кг/с	0,3—5
Производительность при плавке, кг/ч	250
Погрешность дозирования, %, не более	5
Габаритные размеры установки, мм	1400×1150×1600
Масса, кг	1600

Индукционные вакуумные плавильные электропечи. Соответствующий ГОСТ устанавливает следующие типы и номинальные вместимости (т) электропечей: ИМВ (для плавки меди и ее сплавов) — 0,0025; 0,004; 0,01; 0,016; 0,025; 0,04; ИАВ (для плавки алюминия и его сплавов) — 0,06; 0,16; 0,25; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 6.

Частота применяемого тока должна соответствовать ГОСТ 6697—83.

В ГОСТ 16348—80 приведены общие технологические требования к индукционным плавильным вакуумным электропечам.

По способу нагрева печи подразделяют: по воздействию на металл — на печи прямого и косвенного, по характеру работы — на периодического и полунепрерывного действия.

В индукционных вакуумных печах прямого нагрева токи индуктируются непосредственно в шихтовых материалах, а в печах косвенного нагрева — во вспомогательном нагревателе (муфеле), который устанавливают между индуктором и шихтовыми материалами.

В индукционных вакуумных печах периодического действия расплавление металла и дегазацию проводят под вакуумом; разливку — либо под вакуумом, либо в среде нейтрального газа, завалку шихты, установку и удаление изложниц (форм), зачистку и подготовку тигля — при открытой плавильной камере.

Емкость поворотных печей для плавки цветных металлов с разливкой в изложницу (форму) не превышает 100—200 кг. Печи снабжены мало-

9. Технические характеристики установок для дозирования сплавов на основе свинца и олова

Параметр	Модель установки	
	99801	МДН-6-С
Вместимость ванны (по свинцу),кг		
полезная	600	550
общая	680	—
Температура металла, °С	600	
Производительность при плавке, кг/ч	650	500
Время расплавления, ч	0,9	1,0
Погрешность дозирования, %	±3	±5
Скорость подачи металла, кг/с:		
минимальная	0,3	0,3—0,8
максимальная	3,0	(плавно регулируемая)
Установленная мощность, кВт, в том числе:		
индукторов	25	
электромагнита	10	
Потребляемая мощность, кВт:		
при плавке и разливке	15—20	
при выдержке	5	
Максимальное развиваемое электромагнитное давление, Па	$1{,}1 \cdot 10^5$	
Габаритные размеры, мм	1268×775×1105	—
Масса, кг	810	280

мощными откачными системами (остаточное давление не превышает 10^{-4} Па) из-за сложности сопряжения поворотного кожуха печи с вакуумной системой.

Печи с наклоняющимся тиглем внутри неподвижного кожуха представляют собой стационарную вакуумную камеру, внутри которой вмонтирован индуктор. Вместимость печей достигает нескольких тонн.

Недостаток печей — вынужденный простой при необходимости откачки печей во время охлаждения отливок и перед началом плавки.

Печи с донным разливом металла предназначены для плавки и дальнейшего разлива металла через отверстие, расположенное в дне неподвижного тигля.

Для плавки высокореакционных, особо чистых и тугоплавких металлов и сплавов используют печи с «холодным тиглем», в которых в качестве шихты применяют отходы, порошки, губки и т. д.

В печах полунепрерывного действия *рабочий цикл происходит без нарушения* вакуума в плавильной камере. Печи полунепрерывного действия состоят из тигля, наклоняющегося внутри неподвижного кожуха, плавильной камеры, камеры для загрузки шихты и форм. Количество плавок зависит от стойкости тигля. Применяются печи для получения электродов и фасонных отливок методом точного литья по выплавляемым моделям. В печах предусмотрены устройства для ввода присадок, взятия проб металла, *пробивки «мостов», чистки тигля*, измерения температуры без нарушения вакуума в плавильной камере. Для подогрева шихты, форм или изложниц соответствующие камеры оснащены нагревателями.

В поворотных печах полунепрерывного действия металл сливают через промежуточный желоб поворотом плавильной камеры. Камеры для заливки металла сменные, что позволяет производить заливку металла в изложницы методом непрерывного литья, в стационарные формы — методом точного литья, методом центробежного литья. Недостатком индукционных вакуумных печей полунепрерывного действия

10. Технические характеристики установок для дозирования алюминиевых и цинковых сплавов

Параметр	МДН-6-016	МДН-6-025	МДН-6-04
Вместимость ванны, кг:			
общая	160	310	490
полезная	140	250	400
Заливаемая доза, кг	0,3—100	0,3—150	0,3—250
Наибольшая частота дозирования (подача металла к машинам литья под давлением), доз/ч		240	
Скорость заливки, кг/с		0,3—3,0	
Точность дозирования (%) для доз, кг.			
0,3—0,5		±5	
0,5—10		±3	
10—100		±1	
Развиваемое избыточное давление, кПа/(кгс/см²)		49(0,5)	
Габаритные размеры установки, мм	1845×600×1345	1845×720×1425	1845×820×1490
Масса, кг	3000	3300	3500

является наличие промежуточного желоба, который служит источником дополнительных загрязнений разливаемого металла.

Для уменьшения потерь активной энергии в кожухе и увеличения мощности печей принимают внутренний диаметр кожуха в 2—2,5 раза большим наружного диаметра индуктора.

Футеровка индукционных вакуумных печей должна удовлетворять следующим требованиям: обладать малой упругостью пара составляющих при рабочих температурах, минимальным газовыделением, не образовывать летучих, легко диссоциирующих соединений.

При плавке меди в вакуумных печах для набивки тиглей применяют: 99% белого электрокорунда и 1% буры; в верхний слой футеровки тигля добавляют 4% жидкого стекла.

Для получения меди высокой чистоты тигли изготовляют из малозольного графита ГМЗ-МТ.

Тигли для плавки алюминиевых сплавов изготовляют набивкой из жаростойкого бетона с массовыми долями компонентов, %: тонкостенного магнезита 28,8; шамотной крошки фракции 0,15- 0,5 мм 25,0; шамотной крошки фракции 5—10 мм 30,0; кремнефтористого натрия 1,2; жидкого стекла плотностью 1,36—1,38 г/см³ 15,0. Обжигают бетон при 800—900 °С.

Тигли для плавки сплавов на никелевой основе изготовляют из смеси, содержащей, % (мас доля): магнезитового порошка 60—70; электрокорунда или глинозема 30—40; диоксида циркония 5 и оксида титана 2. Смесь плавят в дуговых печах, после охлаждения размалывают и разделяют на фракции с размером зерен 1—5 мм и менее 1 мм, затем смешивают в пропорции 50 : 50 и вводят, % (мас. доля): борной кислоты 0,7—1,2; воды 3—4. Для набивки верхнего слоя тигля в массу добавляют жидкое стекло; прокалку проводят при 1400 °С.

Для плавки цветных сплавов широко применяют вставные графитовые тигли; тугоплавких — керамические вместимостью до 150 кг. Зазор между тиглем и индуктором заполняют теплоизоляционным порошком, уплотняемым грамбовкой.

Применение готовых тиглей сокращает ремонтные простои, однако

11. Технические характеристики индукционных вакуумных электропечей

Параметр	Модель электропечи				
	ИСВ-0,01-ПИМ2	ИСВ-0,04-ПФМ1	ИСВ-0,06-ПИМ3	ИСВ-0,16-ПИМ3	ИСВ-1-НИМ02
Вместимость тигля, т	0,01	0,04	0,06	0,16	1,0
Мощность генератора, кВт	50	100	50	100	1000
Рабочая частота тока, Гц	2400				1000
Максимальная температура расплава, °С	1700	1650	1800		
Остаточное давление, Па	10^{-1}	5×10^{-1}			10^{-1}
Габаритные размеры печи (длина × ширина × высота), м	6,2×4,0×5,2	6,3×4,6×4,0	7,1×4,9×4,1		7,5×13,8×12,2
Масса печи, т	7,5	8,5	7,0	7,5	162,0

эти тигли недостаточно прочны.

В табл. 11 приведены технические характеристики некоторых печей, применяемых для плавки сплавов на основе железа, но которые можно использовать и при производстве отливок из цветных сплавов.

Дуговые печи. По способу нагрева различают следующие дуговые электропечи: прямого нагрева, косвенного, смешанного, плазменного и оптического.

В печах прямого нагрева - дуга горит между электродом и нагреваемым телом; в печах косвенного нагрева — между электродами (тепло к нагреваемому телу передается излучением от дуги и футеровки, нагреваемой дугой).

В печах смешанного нагрева дуга горит между электродом и нагреваемым телом, но значительное количество тепловой энергии выделяется в нагреваемом теле с большим электрическим сопротивлением.

При плазменном нагреве основное количество теплоты выделяется в столбе плазменной дуги.

Особым видом нагрева является оптический дуговой нагрев, когда теплота от дуги, горящей между электродами, передается к нагреваемому веществу с помощью оптических систем.

При производстве отливок из цветных металлов и сплавов дуговые электропечи применяют для плавки и выдержки (в качестве миксеров) металла.

Дуговые однофазные печи ДМК (табл. 12) косвенного нагрева применяют для плавки меди и ее сплавов (бронз, латуней). Расплавление и перегрев металла в печах проводят независимой дугой, питающейся однофазным трансформатором, переменным током от специального трансформатора.

12. Технические характеристики электродуговых печей ДМК

Параметр	ДМК-0,1	ДМК-0,25	ДМК-0,5	ДМК-1,0
Вместимость тигля, кг	100	250	500	1000
Мощность, кВ·А	125	175	250	400
Производительность, кг/ч	125	250	450	700

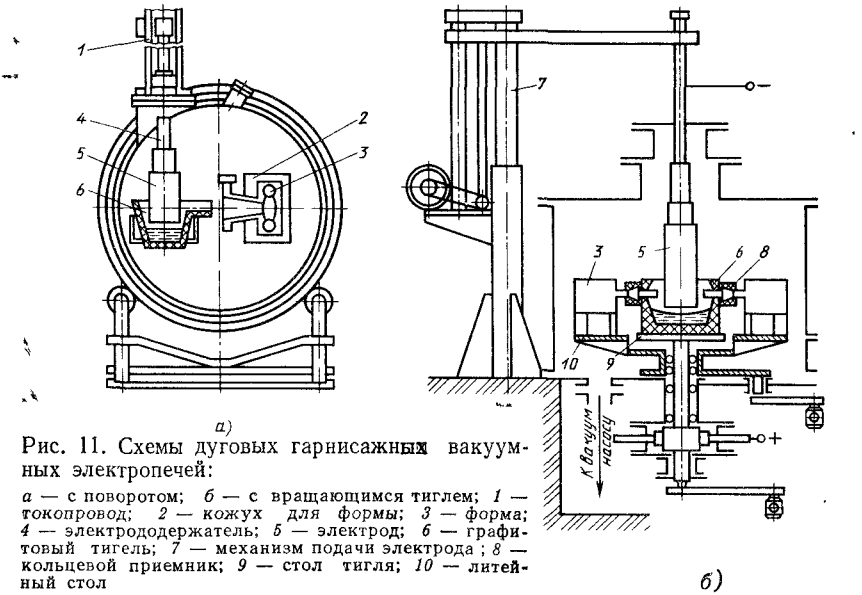


Рис. 11. Схемы дуговых гарнисажных вакуумных электропечей:

а — с поворотом; *б* — с вращающимся тиглем; *1* — токопровод; *2* — кожух для формы; *3* — форма; *4* — электрододержатель; *5* — электрод; *6* — графитовый тигель; *7* — механизм подачи электрода; *8* — кольцевой приемник; *9* — стол тигля; *10* — литейный стол

Продолжительность расплавления 30—60 мин; угар металла 6—7 %.

Печь состоит из стального цилиндрического кожуха, футерованного шамотным кирпичом. В торцовых стенках имеются отверстия для ввода графитовых электродов, между которыми зажигается дуга. Для перемешивания металла и выравнивания температуры печь в процессе плавки непрерывно покачивается.

Вакуумные дуговые печи (ВДП) применяются для получения слитков и фасонных отливок из тугоплавких высокоактивных металлов (вольфрама, титана, циркония, ниобия, молибдена, тантала и др.) или сплавов на их основе. Печи подразделяют на две группы — для плавки в кристаллизаторе и в гарнисаже.

В конструкции ВДП с охлаждаемым кристаллизатором предусмотрено удаление газов, летучих вредных примесей, неметаллических включений, а также получение закристаллизовавшегося слитка с мелкозернистой структурой.

В гарнисажных печах металл рафинируется в таких же условиях, как и при плавке в кристаллизаторе.

Вакуумная дуговая печь (рис. 11) состоит из кристаллизатора (медной водоохлаждаемой изложницы) с поддоном, вакуумной камеры, внутрь которой через вакуумное уплотнение введен водоохлаждаемый электрододержатель с расходуемым электродом, и источника питания постоянного тока.

В вакуумных дуговых печах для плавки в гарнисаже (ДТВГ) плавление металла осуществляется не в кристаллизаторе, а в графитовом или металлическом (медном или из коррозионностойкой стали) охлаждаемом тигле, на внутренней поверхности которого наморожен слой переплавляемого металла (гарнисаж).

Гарнисажный тигель является основной частью электродуговой гарнисажной печи. От его конструкции, материала, размеров зависят масса и температура жидкого металла, его химический состав, технико-экономическая эффективность и безопасность работы печи.

Наличие гарнисажа позволяет предотвратить загрязнение расплава материалом тигля (графитом или медью). Расходуемым электродом служит слиток сплава первичного переплава. Новый электрод приваривают к «огарку» электрической дугой пониженной мощ

ности на этапе плавления с последующим охлаждением места приварки в вакууме. Плавку начинают с установки тигля и электрода в печи. Затем печь герметизируют и вакуумируют до остаточного давления 1,33 Па. Наплавляется необходимый объем металла, перегревается и производится разливка. Средняя стойкость графитовых тиглей 30—40 плавок.

Вакуумные дуговые электропечи для плавки в гарнисаже входят в состав плавильно-заливочных установок, содержащих: вакуумную дуговую гарнисажную электропечь, камеру формирования отливок, механизм загрузки и выгрузки форм, вакуумную систему, источник питания.

Плавильно-заливочные установки подразделяют на две группы: с разливкой металла при горящей дуге; с разливкой металла при отключенной дуге. В печах первой группы не происходит охлаждение ванны при сливе металла из тигля, что сохраняет жидкотекучесть сплава и способствует лучшему заполнению литейной формы; в печах второй группы в период подъема электрода температура металла в тигле несколько снижается, что является недостатком этих печей.

Промышленные плавильно-заливочные установки выпускаются следующих моделей: 833Д; Нева-2; ВДЛ-4; ДВЛ-160М; ДТВГ (ОКБ) (табл. 13); ДВЛ-250; ДХВГ-0,25-ПЦ; ДРВ-0,3Г и др. Технические характеристики дуговых электропечей, применяемых для плавки тугоплавких металлов, приведены в табл. 14.

Плазменные печи. Плазменно-дуговые и плазменно-индукционные печи применяют для получения слитков и отливок из медных, никелевых, титановых и других тугоплавких сплавов.

В плазменно-дуговых печах низкотемпературная плазма является независимым источником тепла, что позволяет проводить плавку некомпактной шихты.

Техническая характеристика плазменно-дуговой печи УП-100 (двухручьевой плавильный агрегат)

Размеры выплавляемых слитков, мм:	
диаметр	270, 300
длина	2500
Число:	
одновременно выплавляемых слитков	2
плазмотронов	6
источников питания плазмотронов	2
Род тока, питающего плазмотроны	Переменный
Производительность печи, кг/ч	500
Габаритные размеры печи (длина × ширина × высота над уровнем пола), мм	15 100×7 385×9 320
Общая высота печи, мм	12 300

Плазменно-индукционные печи дополнительно оборудуют плазменной приставкой.

Электронно-лучевые печи плавильные и литейные печи (ЭЛП) используют для получения слитков и отливок высококачественных тугоплавких и активных металлов. В качестве исходной шихты применяют заготовки, скрап, гранулы, стружку. В ЭЛП (рис. 12) выполняют рафинирование жидкого металла, выплавленного в другом плавильном агрегате. Благодаря открытой ванне и высокому перегреву металла в печи можно проводить дегазацию металла. Наличие высоких температур и вакуума способствует очистке металла за счет термической диссоциации оксидов и других соединений.

При электронно-лучевом нагреве обеспечивается: низкое давление (13,2—1,3 МПа) в камере печи, широкий диапазон регулирования мощности и ее поверхностной плотности (10^2—10^9 Вт/см^2), неограниченное время выдержки металла в жидком состоянии, а также значительный перегрев.

Наиболее широко применяют две конструктивные схемы ЭЛП — с подачей переплавленного металла сверху и сбоку. При вертикальной подаче переплавляемой заготовки применяют несколько электронных пушек, расположенных вокруг заготовки; при горизонтальной подаче — меньшее число пушек (или только одну).

13. Технические характеристики установок ДТВГ (ОКБ)

Параметр	Модель установки		
	ДТВГ-0,06ПЦ (ОКБ-956)	ДТВГ-0,16ПФ (ОКБ-935)	ДТВГ-0,6ПЦ
Вместимость плавильной ванны, кг	60	160	600
Диаметр тигля (без гарнисажа), мм	442	444	880
Глубина тигля (без гарнисажа), мм	395	470	950
Наибольшие размеры формы, мм:			
диаметр	800		1800
высота	500		1600
Скорость плавления, кг/мин	6—8	6—8	15—20
Длительность цикла, ч	2—2,5	5,5	7
Габаритные размеры печи (высота × ширина × длина), мм	5720×3250××7800	5845×5775××10 000	5800×7600××8600

14. Технические характеристики электродуговых установок для плавки тугоплавких сплавов

Параметр	Модель установки					
	ДВВ-125	ДВП-500	ЦЭП-368	ЦЭП-374	ЦЭП-317А	ВД-80
Мощность, кВт	270	260	110		300	
Диаметр кристаллизатора, мм	80; 100; 110; 125				110; 140; 150; 180	80; 100; 115
Сила рабочего тока *, А	4500/6000	3500/1000	5500/—		10 000/12 000	6000/—
Высота кристаллизатора, мм	750		1000			2500
Скорость плавления, кг/мин	0,3—0,6		0,3—0,5		1,0—30,0	0,3—0,5
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/кг	0,8—2,0			1—2		
Расход охлаждающей воды, м³/ч	8—10	8	12		15	12
Высота печи, м	4,1		8		9,15	8
Масса печи, т	1,5		2,5	3,0	3,7	3

* В числителе приведены данные при работе на постоянном токе, в знаменателе — на переменном.

Примечание. Электродуговые установки работают при напряжении 60 В.

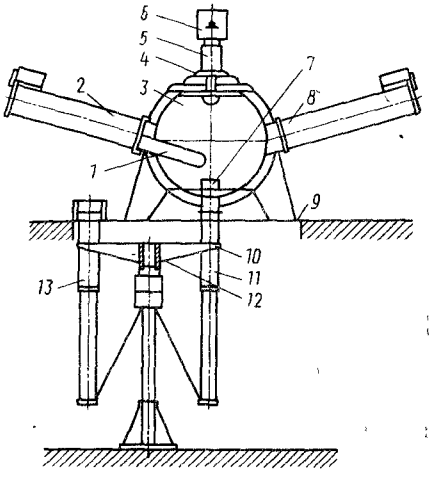


Рис. 12. Электронно-лучевая установка для переплава титановых отходов:

1 — переплавляемая заготовка; *2* и *8* — шлюзовые устройства для заготовок; *3* — плавильная камера; *4* — система развертки электронного пучка; *5* — электронная пушка; *6* — высоковольтный ввод; *7* — кристаллизатор; *9* — площадка обслуживания; *10* — устройство для вытягивания слитка; *11* и *13* — стаканы для слитков; *12* — поворотное подъемное устройство

Характеристики ЭЛП, применяемых для выплавки металлов и сплавов на основе ниобия, тантала, циркония, молибдена, вольфрама, титана, меди и никеля, приведены в табл. 15 и 16.

Для переплавки мелкокусковой шихты в печи предусматривают специальные подающие устройства типа вращающейся трубы, которые позволяют догружать шихту во время процесса плавки без нарушения вакуума.

Вакуумная система ЭЛП обеспечивает остаточное давление в рабочем пространстве 10^{-2}—10^{-3} Па.

Процессом плавки управляют либо с площадки обслуживания, либо дистанционно с использованием телевизионной связи.

Электрошлаковые печи. При электрошлаковом литье (ЭШЛ) переплавляемого электрода в фасонном водоохлаждаемом кристаллизаторе жидкий металл с торца оплавляемого электрода, погруженного в шлаковую ванну, передается в виде капель в литейную форму, которая является местом для приготовления расплава и формирования отливки (рис. 13). При ЭШЛ исключаются взаимодействия металла с материалом формы и газовой средой. В шлаковой ванне из металла удаляются кислород, водород и неметаллические включения. Вокруг кристаллизующейся отливки создается тонкая пленка гарнисажа. При этом виде литья нет надобности в плавильной и раздаточной печах, разливочном ковше, формовочных смесях. Условия кристаллизации металла позволяют получать отливку с тонкой структурой, без пор и усадочной раковины.

15. Технические параметры электронно-лучевых плавильных установок с одной электронной пушкой

Параметр	ПЭЛ-300	ПЭЛ-1000	ЕМО-200
Мощность электронной пушки, кВт	300	1000	200
Размеры выплавляемых слитков, мм:			
диаметр	60—270	100—500	70—230
длина	150	3000	1500
прямоугольного сечения	70×20	80×250	—
Максимальный размер переплавляемых электродов, мм:			
диаметр	250	380	150
длина	2500	3000	2200
Габаритные размеры печи (ширина × × длина × высота), м	7×10×6	13×17×9	13×16×9

16. Технические характеристики электронно-лучевых плавильных электропечей с плосколучевыми пушками

Параметр	Модель электропечи			
	У-143	У-270М	У-254	У-455
Мощность электронного нагрева, кВт	120		500	150
Количество пушек, шт.	4		6	
Ускоряющее напряжение, кВ	13—15		14—17	
Наибольшие размеры получаемого слитка, мм:				
диаметр	150	200	380	200
длина	500	1000	1 350	400
Наибольшие размеры переплавляемых заготовок, мм:				
диаметр	140	185	380	180
длина	670	1350	2 400	500
Скорость откачки из плавильной камеры, л/с	4000		30 000	40 000
Габаритные размеры установки без источника питания:				
площадь, м^2	5	6,2	81	16
высота, м	3,5	6,5	9,5	4,5

ЭШЛ применяют для получения полых слитков, корпусов арматуры, сосудов высокого давления, а также для получения отливок электрошлаковым центробежным литьем (ЦЭШЛ) и электрошлаковым литьем в кокиль (ЭКЛ).

Сущность ЦЭШЛ заключается в получении и накоплении металла в тигельной печи с последующим переливом металла во вращающуюся литейную форму. При этом способе литья (довольно простом) получают качественные отливки.

Для изготовления электродов используют изношенные детали и конструкции, листовую или кузнечную обрезь. Можно переплавлять также отходы в виде различных кусков, применяя нерасходуемые электроды.

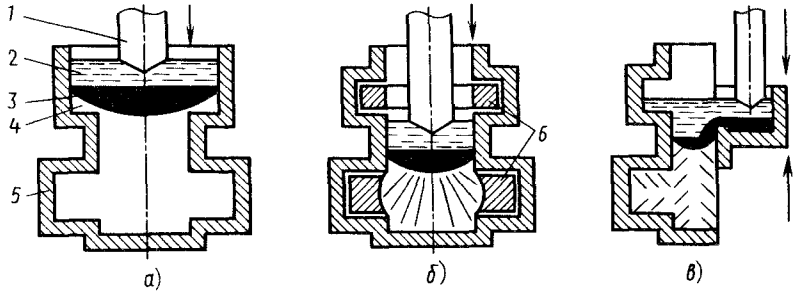


Рис. 13. Схемы ЭШЛ:

а — плавление электрода внутри формы; *б* — ЭШЛ с приплавлением; *в* — с переливом жидкого металла; *1* — расходуемый электрод; *2* — шлаковая ванна; *3* — металлическая ванна; *4* — отливка; *5* — водоохлаждаемая литейная форма (кристаллизатор); *6* — приплавляемые заготовки

вующие марок: 4ГУ, П и ПТ для стержней классов сложности I—III; СДБ, СП, СБ для стержней классов сложности IV и V.

Составы и свойства стержневых смесей приведены в табл. 13.

Графитовые и огнеупорные материалы для изготовления форм. С целью уменьшения взаимодействия между расплавом и формой вместо кварцевых песков применяют высокоогнеупорные материалы и материалы высшей огнеупорности. В табл. 14 [13] приведены характеристики некоторых марок графитовых материалов, применяемых при литье титановых сплавов.

Материалы, используемые при изготовлении оболочковых форм и ХТС, приведены в табл. 15 и 16; характеристики высокоогнеупорных материалов и материалов высшей огнеупорности — в табл. 17.

При литье титановых сплавов используют разовые формы (набивные, прессованные, оболочковые, по выплавляемым моделям), а также металлические (литье в кокиль, литье под давлением).

Для изготовления разовых форм наибольшее распространение получили формовочные смеси, в которых в качестве огнеупорной основы применяют следующие материалы:

углеродные — графит, кокс, пироуглерод и др.;

керамические — огнеупорные оксиды, а также карбиды, нитриды и бориды.

Наилучшей химической стойкостью по отношению к титану обладают формы на основе углеродных материалов.

Для изготовления керамических форм используют высокоогнеупорные оксиды: α-оксид алюминия (электрокорунд), магнезит и оксид циркония ZrO_2. Также на основе огнеупорных оксидов изготовляют формы, получаемые по выплавляемым моделям, набивкой и прессованием.

С целью повышения химической инертности керамических форм на их рабочую поверхность иногда наносят огнеупорные химически стойкие по отношению к титану покрытия, состоящие из вольфрама, молибдена, графита, пироуглерода и других материалов.

В качестве связующего вещества в графитовых формовочных смесях применяют синтетические смолы: фенолоальдегидные, фурановые и другие смолы с высоким коксовым числом. Вместо синтетических смол могут быть использованы водорастворимые связующие вещества.

Графитовые формовочные смеси с органическими связующими (синтетическими смолами) придают формам высокие термохимическую стойкость и огнеупорность.

По методу отверждения формовочные смеси подразделяют на смеси холодного и горячего отверждения.

К формовочным смесям холодного отверждения относятся смеси: СГУ-1, СГУ-3, ВГУ-1 и др.; к смесям горячего отверждения — СГУ-2, СФТ-1, СФТ-1П, АТМ и др. В смесях первого типа отверждение происходит в результате полимеризации связующего вещества при введении в смесь катализатора (например, водного раствора соляной кислоты или др.). В смесях второго типа полимеризация связующего вещества осуществляется при нагреве формовочной смеси. Нагрев проводят либо в нагревательных печах, в которые загружают изготовленные элементы литейной формы (смеси СФТ-1, СФТ-1П, СГУ-2 и др.), либо в нагретой металлической оснастке в период прессования элементов литейной формы (смесь АТМ). В табл. 18 приведены физико-механические свойства графитовых смесей.

Связующие материалы. Кроме формовочной глины в качестве связующего используют органические и неорганические материалы, условно подразделяемые на три класса: А — органические неводные; Б — органические водные; В — неорганические водные. По прочности органические и неорганические материалы делят на три группы: I, II и III (табл. 19).

К классу А относятся связующие, при использовании которых не добавляют воду (не растворимые в воде связующие). Такими связующими являются масла и их заменители, битумы, канифоль и др. Класс Б составляют органические связующие, растворяющиеся в воде, а после ее

14. Характеристики некоторых графитовых материалов

Марка графитового материала	Плотность, кг/м³	Пористость, %	Предел прочности, МПа			Размер заготовки, м		Примечание
			при сжатии	при изгибе	при растяжении	Диаметр	Длина	
ПРОГ	1640	24	5030 / 4700	1700 / 1230	1020 / 500	—	—	Изготовлен методом продавливания
ЭЭГ	1650	—	6500 / —	3000 / —	—	0,11	1,5	Для электроэрозионной обработки металлов
ГЭ	1500	28—30	2000	950	500	До 0,5	0,18	Графитированные электроды
ГМЗ	1600	24	2300 / 2506	— / 1000	— / 600	0,025—0,4	1; 5	Графит малозольный
МГ	1560	28	2450	1040	—	0,07—0,5	До 0,4	Мелкозернистый, спрессованный в пресс-форме
МГ-1	1610	25	3500	2100	—	0,094—0,03	0,25	Мелкозернистый, спрессованный в пресс-форме с одной пропиткой
ППГ	1700	22	3500	—	—	До 0,5	До 1,5	Плотный графитированный, спрессованный прошивным методом
ПГГ	1650	24	3000	—	—	0,135—0,3	0,2—0,28	Плотный графит, спрессованный в глухой матрице
ПГ-2	1700	20	4500	—	—	0,135—0,3	0,2—0,28	Плотный, графитированный, спрессованный в глухой матрице с двумя пропитками
ПГ-50	1020	52	1160 / 1160	700 / 800	380 / 520	0,098/0,3	0,16—0,26	Пористый

Примечание. В числителе — значения предела прочности, измеренные в направлении, параллельном силе прессования образца, в знаменателе — в направлении, перпендикулярном силе прессования.

15. Свойства материалов, используемых при изготовлении оболочковых форм и ХГС

Материал	Химические свойства	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м³	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	Условная стойкость в вакууме, баллы	Удельная поверхность пылевидного * материала, см²/кг
Кварц	К	1713	2650	—	2	400—600
Дистен-силлиманит	КС	1545	3250	—	2	500—600
Циркон	КС	—	4500	5,1	3	700—800
Высокоглиноземистый шамот (муллит)	А	1600	3000	5,3	4	600—700
Электрокорунд (белый)	А	2050	4000	8,6	4	600—700
Двуокись циркония стабилизированная	А	2690	5730	7,2	5	800—900
Окись магния (магнезит)	О	2800	3570	13,5	1	500—600
Шпинель	СО	2135	3560	7,6	4	500—600
Оксид кальция (спеченный)	О	2600	3320	13	5	500

* Размер зерен 0,05 мм.

Примечания: 1. Условные обозначения: К — кислый; КС — слабокислый; А — амфотерный; О — основной; СО — слабоосновной.

2. Балл соответствует самой низкой стойкости.

3. Размер зерен обсыпочного материала в первом слое 0,1—0,2 мм, в последующих — 0,315—0,63 мм.

16. Состав и свойства наполнителей для ХТС [73, 81]

Наименование наполнителей	Содержание компонентов наполнителей, % (мас. доля)						Плотность, кг/м³
	SiO_2	ZrO_2	Al_2O_3	MgO	Cr_2O_3	Оксиды железа	
Кварцевый песок	97—98	—	—	—	—	—	2650
Циркон	36	66	—	—	—	—	4500
Дистен-силлиманит	31	—	63	—	—	—	3250
Хромистый железняк	4—9	—	9—16	11—18	48—55	12—16	4400
Хромомагнезит	3—4	—	4—10	40—70	9—30	11—12	4300
Ставролит	5—7	—	40—45	—	—	18—20	3600
Оливин	38	—	—	47	—	13	3200
Рутил TiO_2	96	—	—	—	—	—	4280

Примечание. Дано примерное содержание основных компонентов (без примесей).

17. Характеристика высокоогнеупорных материалов и материалов высшей огнеупорности

Материал	Марка материала	Наименование и содержание % (мас. доля)		Огнеупорность, °С	pH водной вытяжки	Зерновой состав, % (мас. доля)	Область применения
		основного компонента	вредных примесей				
Высокоогнеупорные материалы							
Шамотный порошок для приготовления масс (ТУ 14-8-56—72)	ПШС	Al_2O_3 32; SiO_2 56,0—61,0	—	1690	7,8	Через сетки проходит: № 8 не менее 100; № 05 — 30—50; в том числе через сетку № 009 25—40. Остаток на сетке № 3 20—30	Многократные формы
Хромитовые порошки для литейного производства (ТУ 14-8-163—75)	ПХК	Cr_2O_3 не менее 45	SiO_2 не более 8; CaO не более 2,5	1600—1800	8	Через сетку № 05 проходит не более 40. Остатки на сетках: № 3 не допускается; № 2 не более 5	Облицовочные смеси
	ПХС	Cr_2O_3 не менее 30	SiO_2 не более 10; CaO не более 3,0				
Дистен-силлиманитовый концентрат (ТУ 48-4-307—74)	КДСЗ	Al_2O_3 не менее 75	Fe_2O_3 не более 0,8, CaO не более 0,2; MgO не более 0,4; TiO_4 не более 1,5	1800	5,7	Остаток на сетке № 0315 не более 0,5	Формовочные и стержневые смеси для получения крупных отливок из медных сплавов
Оливиновый песок	—	MgO 46—50, SiO_2 42—43	Оксидов железа не более 10—12; $Al_2O_3 + Cr_2O_3 + CaO + MgO$ не более 2,0	1750—1830 *	9,8	—	Добавляют в облицовочные смеси и покрытия при изготовлении

							форм и стержней крупных отливок из тугоплавких сплавов цветных металлов
Материалы высшей огнеупорности							
Магнезитовый порошок для литейных форм (ТУ 14-8-16—71)	МЛФ	MgO 91,0	CaO 3,5; SiO_2 3,0	1900—2000	12,8	Через сетку № 0063 проходит 12—22. Остаток на сетке № 1 не более 15	—
Магнезитохромитовые и хромомагнезитовые порошки (ТУ 14-8-132—74)	ПМХТ	Cr_2O_3 15—20; MgO 55	SiO_2 5	2000—2100	0,5	Через сито № 05 проходит 50—85. Остаток на сите № 1 не более 7	Противопригарные краски и пасты
Магнезитохромитовые и хромомагнезитовые порошки (ТУ 14-8-132—74)	ПМХТ	Cr_2O_3 30—40; MgO 55	SiO_2 5	2000—2100	0,5	Через сетки проходит: № 05 70—85; в том числе через сито № 009 20—35. Остаток на сите № 1 не более 7	
Корундовые порошки для набивных масс	ПКН-8	Al_2O_3 98	Fe_2O_3 0,5	2050	9	Через сетки проходит № 8 не менее 90; № 2 не более 10	Корундовый порошок ПКН-0,5 может быть использован для приготовления облицовочных смесей при производстве отливок из тугоплавких сплавов

Продолжение табл. 17

Материал	Марка материала	Наименование и содержание % (мас. доля)		Огнеупорность, °С	pH водной вытяжки	Зерновой состав, % (мас. доля)	Область применения
		основного компонента	вредных примесей				
Корундовые порошки для набивных масс	ПКН-2	Al_2O_3 98	Fe_2O_3 0,5	2050	9	Через сетку проходит: № 2 не менее 90; № 5 не более 10	См. с. 253
	ПКН-0,5					Через сетку № 05 проходит не менее 90	
Цирконовый песок (РСТ УССР 654—70)	Ц1	$ZnSiO_4$ 97,0—98,5	Примеси сопутствующих минералов: 1,5—3,0	2430—2450	6,5	Остаток зерен на двух основных смежных ситах № 01 и № 0013 не менее 90	Формовочные материалы для получения крупных толстостенных отливок при длительном воздействии на смесь высоких температур и металлостатических давлений
	Ц2	$ZnSiO_4$ 94,0—96,5	3,5—6,0				

* Температура спекания 1400 °С.

18. Физико-механические свойства графитовых формовочных смесей

Марка смеси	Сырые образцы		Образцы, обожженные при 1000 °С			
	Прочность на сжатие, МПа	Газопроницаемость, ед.	Прочность на разрыв, МПа	Газопроницаемость, ед.	Осыпаемость, %	Усадка, %
СФТ-1	0,06—0,07	Св. 25	0,8—0,9	150—170	0,10—0,12	2,0—2,2
СФТ-1П	0,07—0,09	» 25	Св. 0,9	Св. 90	До 0,1	0,9—1,1
СГУ-2	0,018—0,024	—	0,7—1,1	—	0,02—0,05	2,2—2,4
СГУ-3	0,018—0,03	50—65	0,6—1,2	80—100	0,02—0,05	1,9—2,0
БГУ-1	0,025—0,05	—	0,5—0,8	90—150	—	0,8—0,9

испарения (при сушке стержней) связывающие зерна песка. К классу Б относятся сульфитно-спиртовая барда, сульфитно-дрожжевая бражка, декстрин, пектиновый клей, патока и др. В класс В входят неорганические связующие (жидкое стекло, глина, цемент), которые так же, как и связующие класса Б, проявляют связующую способность только после добавления к ним воды.

Основным признаком отнесения связующего к той или иной группе является удельная прочность, т. е. прочность на разрыв, отнесенная к 1 % введенного в стержневую смесь связующего. Для оценки удельной прочности в лабораторные бегуны загружают 2 кг сухого кварцевого песка и 2 % воды. После перемешивания смеси в течение 2 мин добавляют 2 % связующего, и перемешивание про-

19. Классификация связующих материалов

Группа	Удельная прочность, $\frac{10^5 \text{ МПа}}{1\ \%}$	Класс А		Класс Б		Класс В	
		Связующее	Обозначение	Связующее	Обозначение	Связующее	Обозначение
I	Св. 0,5	Растительные масла, олифа, П, ПТ, ПТА, синтетические смолы типов: ОФ-1, ФФ-1Ф, ФФ-1СМ и др.	А-1	Синтетические смолы типов: М-3, УКС-Л, КФ-40, КФ-90, БС-40 и др.	Б-1	Жидкое стекло	В-1
II	0,3—0,5	4ГУ (П), ГТФ, БК, УСК-1, КО и др.	А-2	Декстрин, пектиновый клей	Б-2	—	—
III	До 0,3	Канифоль, СП, СБ и др.	А-3	Концентраты сульфитно-дрожжевой бражки, патока	Б-3	Глина, цемент	В-3

должается еще 8 мин. Из полученной смеси изготовляют образцы (восьмерки) для определения прочности на разрыв по-сухому. Так, если прочность на разрыв связующего группы II составляет 0,85 МПа, то, разделив это значение на два (в смесь введено 2 % связующего), получим удельную прочность, отнесенную в 1 % связующего.

Наиболее часто применяют связующие марок [43]:

П — раствор окисленного бакинского петролатума (побочного продукта при изготовлении смазочных масел из нефти) в уайт-спирите (особо чистом керосине); состав, % (мас. доля): петролатума 50—55, уайт-спирита 50—45;

ПТ — раствор окисленного петролатума и талового масла (темная вязкая смола, получаемая при переработке сульфатного мыла) в уайт-спирите;

ПТА — раствор окисленного петролатума, обработанного аммиаком, и талового масла в уайт-спирите;

П, ПТ и ПТА применяют при изготовлении стержней класса I;

4ГУ (П) — раствор сплава битума [25 % (мас. доля)] и канифоли [25 % (мас. доля)] в уайт-спирите [50 % (мас. доля)]. При приготовлении этого связующего битум сплавляют с канифолью, а затем сплав растворяют в уайт-спирите; применяют для стержней классов I и II;

ПК-104 — тонкоизмельченная смесь новолачной фенолоформальдегидной смолы 104 и 7,4—8 % (мас. доля) уротропина, связующее используют при изготовлении оболочковых форм и стержней;

ГТФ — генераторная тяжелая фракция сланцевой генераторной смолы, получаемой при тепловой переработке эстонских сланцев; введение этого связующего в комбинации с сульфитной бардой или бражкой значительно повышает прочность сухих образцов на разрыв; связующее дешево и недефицитно; применяют для стержней классов II и III;

БК — эмульсия, состоящая, % (мас. доля): из сульфитно-дрожжевой бражки 73—75 %; лака этиноля 15—17 %; связующего ГТФ 10—12 %; применяют для стержней классов II и III,

СП и СБ — эмульсии, состоящие из сульфитно-спиртовой барды и соответственно из окисленного петролатума и связующего ГТФ; относятся к быстросохнущим; их используют при изготовлении стержневых (стержни классов сложности IV—V) и формовочных смесей;

М — мочевино-формальдегидная смола, являющаяся продуктом конденсации мочевины с формальдегидом в присутствии уротропина; применяют при изготовлении стержневых смесей для отливок из сплавов цветных металлов; процесс сушки более ускоренный, чем при использовании многих других связующих.

Отрицательным свойством мочевинных смол является выделение при заливке форм резкого неприятного запаха, для устранения которого в стержневые смеси связующее М вводят в сочетании с пектиновым клеем, который получают из жома сахарной свеклы либо из яблоневых выжимок.

Концентраты сульфитно-дрожжевой бражки являются отходами при переработке сульфитного щелока (побочный продукт целлюлозно-бумажного производства) в спирт. Различают бражку двух марок: КБЖ — концентраты бражки жидкие и КБТ — концентраты бражки твердые.

Разделительные покрытия уменьшают прилипаемость формовочных и стержневых смесей к модельной оснастке. Различают *многократно используемые покрытия* деревянных моделей и стержневых ящиков (лаки, эмали и синтетические смолы) и *разовые покрытия*, наносимые на поверхность моделей и ящиков после каждого или нескольких циклов формовки (порошки или жидкости).

В качестве многократно используемых покрытий для деревянных моделей используют химически стойкий лак ХСЛ на основе перхлорвиниловой смолы и полиуретановый лак УР-24.

В качестве разовых порошкообразных разделительных припылов применяют кристаллический графит, искусственный ликоподий (мраморная пудра, плакированная стеарином), белую сажу и эбонитовую пыль (ТУ 38-105323—76). Разделительные

20. Разделительные покрытия для горячей оснастки

Покрытие	Область применения
3 %-ный раствор синтетического термостойкого каучука СКТ-Р (ГОСТ 14680—79)	Для форм и стержней из смесей на основе связующих, а также при использовании оснастки с закрытым электрическим нагревом
Эмульсия КЭ-60-90 (ТУ 6-02-858—74) на основе каучука СКТН-А, разбавленная дистиллированной водой в соотношении 1 : 15	Для форм и стержней на основе различных связующих, а также при использовании оснастки с электрическим и газовым нагревом
Кремнийорганическая эмульсия КЭ-10-01 (ТУ 6-02-587—75), разбавленная дистиллированной водой в соотношении 1 : 15	Для форм и стержней на основе карбамидно-фурановых связующих, а также при использовании оснастки с электрическим и газовым нагревом
Расплав озокерита М-60 (ВТУ 288—49)	Для форм и стержней из смесей на основе карбамидно-фурановых связующих, а также при использовании оснастки с закрытым электрическим нагревом

припылы используют преимущественно при изготовлении форм и стержней вручную.

Жидкие разделительные покрытия применяют при механизированном и автоматизированном процессах изготовления форм и стержней. Так, для форм из песчано-глинистых смесей применяют масло ВИ4 (ТУ 39-101-308—72) и разделительные покрытия, содержащие олеиновую кислоту (ТУ 18-16-303—74), технологическую смазку СП-3 (ГОСТ 5702—75) и антифрикционную модельную смазку ОК-72.

Для опрыскивания модельных плит на КамАЗе применяют разделительное покрытие, состоящее из 10—15 % олеиновой кислоты и 85—90 % осветительного керосина КО-25. Допускается замена олеиновой кислоты маслом ИГП-6 (ТУ 38-1-01-75—70).

При изготовлении форм и стержней из жидкостекольных смесей применяют разделительное покрытие, состоящее из раствора канифоли в керосине (соотношение массовых долей 1 : 10).

Для стержней из набивной самотвердеющей смеси рекомендуют использовать водный раствор эмульсола (1 : 1), раствор СДБ плотностью 1150—1200 кг/м^3, смесь мазута с керосином (1 : 1), минеральное масло ДС-РАС. В качестве разделительных покрытий при работе с ХТС на термопластичных смолах применяют смесь кристаллического графита с керосином (1 : 2), 1—2 %-ный раствор парафина в керосине или бензине, смесь кристаллического графита с минеральным маслом.

Разделительные покрытия для горячей оснастки приведены в табл. 20 [79].

Противопригарные добавки и защитные присадки. В качестве противопригарных добавок в смеси для формообразования отливок из медных сплавов вводят мазут (0,5—1,5 %). Его действие основано на том, что в период заливки формы сплавом в результате сгорания мазут на поверхности раздела металла и формы создается газовая прослойка, препятствующая проникновению расплава в поры смеси. Кроме того, присутствие оксида углерода в газообразных продуктах создает в форме восстановительную атмосферу, препятствующую окислению металла. Для отливок, имеющих сложные внутренние полости, не подвергаемые обработке,

в состав стержневых смесей вводят пылевидный кварц, который заполняет поры между зернами песка и препятствует проникновению расплава в поверхность стержня.

При изготовлении отливок из алюминиевых и магниевых сплавов в состав формовочных и стержневых смесей вводят борную кислоту, фтористую присадку или присадку ВМ, которую вводят в виде водного раствора или порошка, состоящую из 58—62 % мочевины, 13—17 % борной кислоты и 15—19 % нефелинового коагулянта. Вводимые присадки препятствуют окислению и самовозгоранию этих сплавов за счет образования защитной атмосферы.

Для дополнительной защиты от пригара наружную поверхность форм и стержней покрывают тонким слоем специальных противопригарных материалов. При формовке по-сырому поверхность формы покрывают серебристым графитом (литье из медных сплавов), тальком (литье из алюминиевых и магниевых сплавов), цементом и др. Для повышения поверхностной прочности форму опрыскивают из пульверизатора раствором сульфитно-дрожжевой бражки, разбавленной теплой водой до плотности 1100 кг/м^3.

Стержневые клеи и замазки [73]. Сульфитный клей состоит, мас. часть: сульфитно-спиртовой барды 50; формовочной глины 50; воды 20. Также применяют клей состава, % (мас. доля): декстрина 40; формовочной глины 60; воды 65.

Литейные клеи № 1, 2, 3 и 4, отверждаемые тепловой сушкой, содержат соответственно 38; 38,5; 29,8 и 50 % (мас. доля) огнеупорной глины. В состав клеев вводят также, % (мас. доля): № 1 — скрытокристаллического графита 2; бентонитовой глины 20; ССБ 40; № 2 — декстрина 65; горячей воды 35; № 3 — ССБ 61,5; № 4 — скрытокристаллического графита 8,1; декстрина 62,1; № 5 — жидкого стекла 50.

На КамАЗе при производстве стержней в горячей оснастке применяют самотвердеющий клей, содержащий, % (мас. доля): смолы ФПР-24 48; пылевидного кварца 52; катализатора ФС 26/6 11,9—13,3; изопропилового спирта 2,6—1,3. Предел прочности образца на растяжение через 30 с после холодного склеивания превышает 1 МПа.

Замазки (табл. 21) применяют для заделки швов, образующихся при склеивании стержней, а также для устранения дефектов (выбоин, трещин).

В замазки для отливок из магниевых сплавов вводят 3—6 % борной кислоты.

Для предотвращения утечки металла при заливке форм, затекания металла в газоотводные каналы стержней и уменьшения толщины заливов разъемы форм и стержней уплотняют безводной мастикой и прокладочными жгутами (ТУ 2-043-588—77), накладываемыми на разъем литейной формы.

Теплоизоляционные материалы. В качестве теплоизоляционных наполнителей используют строительные теплоизоляционные материалы, которые в соответствии с ГОСТ 16381—77 классифицируют:

по структуре на зернистые (аглопоритовый песок, трепел, кизельгур, вспученный перлит, шунгизит), ячеистые (пеношамот, пеностекло), слоистые (отходы слюды, вермикулит), волокнистые (стекловолокнистые, минераловатные, шлаковатные), со смешанной структурой (асбестин, асбозурит, порошок совелитовый);

по виду исходного сырья на неорганические (вспученный перлит, вермикулит, шингизит) и органические (древесные опилки);

по форме и внешнему виду на сыпучие и рыхлые (перлитовый песок, вата), рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты), штучные (пеношамотные или перлитокерамические блоки и полуцилиндры, втулки и фасонные изделия из теплоизоляционных смесей);

по теплопроводности на классы:

Коэффициент теплопроводности при 20° С, Вт/(м·°С)	
А (низкой теплопроводности)	До 0,0581
Б (средней теплопроводности)	0,0581—0,1163
В (повышенной теплопроводности)	0,1163—0,1744

21. Составы замазок [72, 73]

Компоненты замазки	Содержание компонентов, % (мас. доля)
Медные сплавы	
Песок 2К063	60
Кристаллический графит	25
Формовочная глина	15
Вода	0,3 *1
Алюминиевые сплавы	
Полужирный песок	34—26
Белый тальк	63—70
Пектиновый клей	1—2
Крепитель ЛКБЖ плотностью 1270 кг/м³	2
Вода	30—40 *2
Белый тальк	30
Железный сурик	10
Полужирный песок	60
Вода	30—35 *2
Белый тальк	94—90
Формовочная глина	6—10
Вода	20—30 *2
Полужирный песок	90
Бентонитовая глина	10
Вода	20—30 *
Песок П01	36—38
Тальк	63—60
Декстрин	1—2
Крепитель ССБ	1—2 *2
Вода	30—40 *2

*1 0,3 л на 1 кг сухой смеси.
*2 Сверх 100 %.

по возгораемости на три группы: несгораемые (неорганические материалы), трудносгораемые (органические материалы, содержащие большое количество неорганических примесей, или пропитанные неорганическими веществами, например, жидким стеклом), сгораемые (органические материалы — опилки, отходы измельченного кокса, торфа);

по температуре применения на три группы: с температурой применения до 800, 800—1200, более 1200 °С; первую группу материалов используют при изготовлении отливок из сплавов на основе алюминия, вторую — на основе меди и третью — на основе железа.

Зернистые и ячеистые теплоизоляционные материалы — это пористые осадочные породы; материалы, вспученные при высокой температуре; пористые материалы, получаемые в качестве отходов при производстве строительных материалов.

В природе зернистые теплоизоляционные материалы встречаются в виде кремнистых опаловых соединений, содержащихся в осадочных породах. Типичными представителями таких соединений являются аглопоритовый песок и диатомит. Пористые зернистые материалы получают при обработке жидких шлаков, содержащих большое количество газов, или сливов шлаков определенного химического состава в водный бассейн. К зернистым материалам, вспученным при высокой температуре, относятся вспученный перлит и шунгизит.

Аглопоритовый песок (ГОСТ 11991—83) в основном состоит из кремнистых опаловых пород, в частности диатомита, содержащего полые панцири микроскопических организмов (диатомитовые водоросли) гидрокремнистого состава. В качестве примесей в него входят глинистые материалы.

Вспученный перлит (ГОСТ 10832—83) представляет собой зернистый пористый материал в виде песка или щебня, получаемый при термической обработке измельченных стеклообразных пород типа обсидиана, перлита и других материалов, содержащих в своем составе первичную воду

в количестве 0,3—5,8 %. Термическая обработка осуществляется в специальных барабанных, шахтных или вибрационных печах при температуре до 850 °С. При парообразовании и выделении газов происходит размягчение и вспучивание материала. Температура, время нагрева и коэффициент вспучивания перлита зависят от химического состава исходного сырья. Обычно коэффициент вспучивания равен 6,0—15,0.

В соответствии с ГОСТ 10832—83 вспученный перлит (песок) подразделяют на марки в зависимости от объемной массы: 100; 150; 200 и 250. Перлитовый песок подразделяют также по размерам зерен на рядовой (размеры зерен менее 5 мм); крупный — 1,25—5,0; мелкий — 0,16—1,25; пудра (фильтр-порошок) — менее 0,16 мм.

Шунгизит получают вспучиванием измельченных сланцевых шунгитосодержащих пород, содержащих 1,2—5 % шунгитового вещества. Это особая форма углерода, состоящая из частиц размером 0,2 мкм, равномерно распределенных в силикатной массе. Температура вспучивания шунгизита 1100—1240 °С. Свойства шунгизитового гравия регламентируются ГОСТ 9759—83 на керамзитовый гравий.

Шунгизитовый песок с размерами зерен до 5 мм получают дроблением более крупных кусков гравия. Вспученный шунгизит имеет мелкоячеистую структуру.

Перлитокерамические изделия изготовляют прессованием вспученного перлитового песка и глины (в соотношении 1 : 1) и дальнейшей сушкой и обжигом при температуре 850—900 °С. Получаемые марки изделий: 250, 300, 350, 400. В литейном производстве используют оболочки и трубы, изготовленные из перлитокерамических смесей, а также измельченные отходы перлитокерамических изделий. Коэффициент теплопроводности изделий с объемной массой 250—400 кг/м^3 при 20 °С составляет 0,075—0,110 Вт/(м·°С).

Песок и гравий керамзитовый (ГОСТ 9759—83) — искусственные пористые материалы, получаемые путем вспучивания при обжиге силикатных пород (глин, трепела, сланцев) или золы из отходов тепловых электростанций. В литейном производстве такие материалы используют с размером зерен до 5 мм и объемной массой до 200 кг/м^3.

Шлаковую пемзу (ГОСТ 9760—86) получают поризацией расплавленных шлаков с последующим дроблением и рассевом. В литье используют шлаковую пемзу с размером фракций до 5 мм и объемной массой до 400 кг/м^3.

Слоистые теплоизоляционные материалы получают из отходов природной слюды и вспученного при высоких температурах вермикулита.

Слюда встречается в трех минералогических модификациях (мусковит, флогопит и биотит), не содержащих кристаллизационную воду. Эти минералы не вспучиваются при нагревании. Объемная масса слюды в рыхлом состоянии 150—350 кг/м^3, что значительно превышает объемную массу вспученного вермикулита.

Вспученный вермикулит — пористый зернистый материал чешуйчатого строения, получаемый обжигом вермикулита.

Вермикулит вспучивается при нагревании до 980 °С вследствие того, что содержащаяся в нем вода, превращаясь в пар, расслаивает частицы по плоскостям спаянности на отдельные пластинки-чешуйки. При вспучивании объем вермикулита увеличивается в 15—25 раз.

По размеру зерен вермикулит подразделяют: на крупный (размеры зерен 5,0—10,0 мм); средний (0,6—5,0 мм); мелкий (до 0,6 мм).

Волокнистые теплоизоляционные материалы — материалы либо природного происхождения, либо полученные методом распыления смеси оксидов с определенным модулем кислотности.

Асбест имеет волокнистое строение, способен расщепляться на прочные тонкие и гибкие волокна, что повышает его теплоизоляционные свойства.

В качестве волокнистых теплоизоляционных материалов используют минеральную вату, основу которой составляют: стекловолокно, базальтовое волокно, шлаковая вата.

Теплоизоляционные материалы со смешанной структурой имеют природное происхождение, а также могут быть получены смешиванием материа-

лов с различной структурой.

Порошок совелитовый (ТУ 36-131—77) получают при размоле совелитовых изделий (ГОСТ 6788—74), в состав которых входят $MgCO_3$, $CaCO_3$ и асбест. Объемная масса совелитового порошка 250 кг/м³ и коэффициент теплопроводности 0,095—0,12 Вт/(м·°С).

Асбестин — разновидность тальковых руд; представляет собой рыхлую горную породу, содержащую, кроме талька, до 25 % коротковолнистого тремотита и в качестве примесей — карбонаты.

Асбозурит (ТУ 36-130—77) представляет собой порошкообразную смесь трепела или диатомита с 15 % (мас. доля) асбеста. Изделия из асбозурита марок 600, 700 и 800 имеют коэффициент теплопроводности 0,17—0,22 Вт/(м·°С).

Наиболее широко в качестве теплоизоляционного материала используют вспученный перлит (как дешевое сырье). Смесями со вспученным перлитом утепляют боковые стенки прибылей, применяют в качестве засыпок зеркала металла и для покрытий, регулирующих скорость затвердевания и охлаждения отливок в металлических формах.

Наполнителями теплоизоляционных смесей являются вспученный вермикулит и шунгизит; засыпками — аглопоритовый песок, керамзит и трепел. В последнее время в литейном производстве все больше используются изделия на основе волокнистых материалов.

2. Постоянные формы и стержни, литейная оснастка

Материалы пресс-форм. Все формообразующие детали пресс-форм при работе подвергаются сложному силовому, тепловому и химическому воздействиям расплава. Поэтому формообразующие детали изготовляют из материалов, которые обладают высоким сопротивлением термоциклическим нагрузкам, высокой твердостью, вязкостью и прочностью при нагреве, малым коэффициентом линейного расширения, хорошо обрабатываются резанием, мало деформируются при термической обработке и не вступают в физико-химическое взаимодействие с расплавом. Такими свойствами обладают стали, легированные вольфрамом, хромом, никелем, молибденом и ванадием. Формообразующие детали пресс-форм для литья алюминиевых, магниевых, медных и цинковых сплавов изготовляют из этих сталей (табл. 22); при литье титановых сплавов — из жаропрочной стали 3Х2В8Ф, титановых сплавов ВТ1, ВТ5, ВТ3-1, молибдена и его сплавов, а также из мелкозернистого графита марок ГМЗ и РВ.

Для других деталей пресс-форм (плит, контрвыталкивателей, колонок, втулок и т. д.) используют конструкционные стали 35, 40, 40Х, 45.

Для придания необходимых служебных свойств формообразующие детали пресс-форм подвергают термической и химико-термической обработке — низкотемпературному цианированию на глубину 0,05—0,2 мм.

Материалы для кокилей. В процессе эксплуатации в кокиле возникают значительные термические напряжения вследствие чередующихся резких нагревов (при заливке и затвердевании отливки) и охлаждений (при раскрытии кокиля и извлечении отливки), нанесения на рабочую поверхность огнеупорного покрытия). К тому же под действием переменных температур в материале кокиля могут протекать сложные структурные изменения и химические процессы. Поэтому материалы для кокиля, особенно для его частей, непосредственно соприкасающихся с расплавом, должны хорошо противостоять термической усталости, иметь высокие механические свойства и минимальные структурные превращения при температурах эксплуатации, обладать повышенной ростоустойчивостью и окалиностойкостью, иметь минимальную диффузию отдельных элементов при циклическом воздействии температур, хорошо обрабатываться, быть недефицитными и недорогими.

Для рабочих стенок кокилей используют различные материалы (табл. 23).

Чугуны, используемые для изготовления кокиля, имеют ферритно-перлитную структуру и графит в виде

22. Материалы для изготовления деталей пресс-форм

Заливаемый сплав	Детали пресс-формы	Марка стали	Твердость поверхности HRC
Цинковый	Вкладыши, вставки, особо сложные стержни, втулки литниковые, рассекатели	5ХНМ, 40ХНМА	58—62
	Стержни и выталкиватели	У10А	48—52
Алюминиевые и магниевые	Вкладыши, вставки, стержни, выталкиватели, рассекатели, втулки литниковые	3Х2В8Ф; 4Х5МФС	58—62
Медные	Вкладыши, вставки, стержни, рассекатели, втулки литниковые	3Х2В8Ф	42—46
—	Плиты-обоймы, ползуны, рейки, втулки стержней	40, 40Х	30—34
	Плиты подкладные	35, 45	—
	Колонки, направляющие, контртолкатели	У10А	50—55
	Втулки ползуна, втулки стержней	40Х, 45	48—52

23. Материалы для рабочих стенок кокилей

Материал	Область применения
СЧ20, СЧ25	Кокили для мелких и средних отливок, с воздушным или водовоздушным охлаждением, в двухслойном исполнении
ВЧ 40, ВЧ 45	Кокили для средних и крупных отливок: с воздушным либо водовоздушным охлаждением, а также в двухслойном исполнении
Стали: Ст3, 10, 20, 15Л—II, 15ХМЛ	Кокили с жидкостным охлаждением, вкладыши двухслойных кокилей
Медь и ее сплавы, легированные стали и сплавы с особыми свойствами	Вставки в места интенсивного термогидродинамического износа, металлические стержни
АЛ9, АЛ11	Водоохлаждаемые кокили с анодированной поверхностью, кокили с естественным охлаждением и анодированной поверхностью (в основном для мелких отливок)

24. Материалы для изготовления деталей кокилей

Детали кокиля	Условия работы	Используемая сталь
Стержни, штыри, обратные толкатели, тяги	Соприкасаются с жидким металлом, работают на истирание	45
Стержни, вставки, выталкиватели с резкими переходами в сечениях	Оформляют глубокие полости отливок и находятся под действием высоких температур	30ХГС, 35ХГСА, 35ХНМ, 4Х5МФС
Выталкиватели	Испытывают ударные нагрузки	У8А, У10А
Оси, валы, эксцентрики	Работают на истирание	25 *

* Подвергают цементации.

мелких изолированных включений. В этих чугунах не допускается присутствие свободного цементита, так как при нагреве кокиля происходит распад цементита с изменением объема материала, в результате чего в кокиле возникают внутренние напряжения, способствующие короблению кокиля, образованию на его рабочих поверхностях сетки разгара, снижению его стойкости. В состав таких чугунов для повышения их стойкости вводят до 1 % (мас. доля) никеля, меди, хрома; содержание вредных примесей (серы и фосфора) должно быть минимальным. Например, для изготовления кокилей с высокой теплонагруженностью рекомендуется серый чугун, состоящий, мас. доля, %: C 3,0—3,2; Si 1,3—1,5; Mn 0,6—0,8; Cu 0,7—0,9; Ni 0,3—0,7; Ti 0,08—0,1; S до 0,12; P до 0,1 [81].

Стали для кокилей обладают высокой пластичностью и поэтому хорошо сопротивляются растрескиванию при эксплуатации.

Кокили из алюминиевых сплавов анодируют, в результате чего на их рабочей поверхности образуется тугоплавкая (температура плавления около 2000 °С) износостойкая пленка окислов алюминия толщиной до 0,4 мм. Высокая теплопроводность алюминиевых кокилей способствует быстрому отводу теплоты от отливки. Эти кокили обычно делают водоохлаждаемыми. Медь также часто используют для изготовления рабочих стенок водоохлаждаемых кокилей.

Вставки и вкладыши для мест, в которых необходимо ускорять теплоотвод от отливки и тем самым управлять процессом ее затвердевания, изготовляют из меди.

Для стержней простой конфигурации используют и конструкционные углеродистые стали, сложной конфигурации — легированные стали, для прочих деталей (осей, валов, болтов и т. д.) — конструкционные стали (табл. 24).

Правильный выбор материала обеспечивает высокую стойкость кокилей. Стойкость кокилей (табл. 25) соответствует числу отливок требуемого качества, полученных в данном кокиле до выхода его из строя.

Технологическая оснастка — это совокупность приспособлений и инструментов, необходимых для вы-

25. Приблизительная стойкость кокилей

Заливаемые сплавы	Отливки	Материал кокиля	Стойкость кокиля (число получаемых отливок)
Медные	Мелкие Средние	Чугун	1 000—10 000 1 000—8 000
	Мелкие Средние	Сталь	1 000—1 500 500—3 000
Алюминиевые, магниевые, цинковые	Мелкие Средние Крупные	Чугун	Сотни тысяч Десятки тысяч Несколько тысяч

полнения процесса формообразования отливок. По роли в формообразовании отливок оснастку подразделяют на основную и вспомогательную. Основную оснастку составляет модельный комплект, в который входят модели, стержневые ящики, элементы моделей литниковой системы, модельные плиты и шаблоны. Вспомогательная оснастка — это опоки, подмодельные щитки, сушильные плиты, центрирующие штыри, скобы и т. п.

Модельные комплекты. Модельные комплекты классифицируются по способу изготовления литейной формы, габаритным размерам, сложности конструкции и роду материалов.

По способу изготовления литейной формы разделяют модельные комплекты для машинной и ручной формовки. Для ручной формовки модели могут иметь один-два и более разъемов, а также отъемные части. Для машинной формовки целесообразней иметь модели более простой конфигурации, без отъемных частей и по возможности с одним разъемом.

В зависимости от габаритных размеров модельные комплекты подразделяют на мелкие, средние и крупные. Мелкие модели и стержневые ящики имеют максимальный габаритный размер до 500 мм, средние — 500—1500 мм, крупные — более 1500 мм.

По сложности конструкции модельные комплекты классифицируют на простые, средней сложности и сложные. Простые — это неразъемные или разъемные мелкие и средние и стержневые ящики, имеющие прямолинейную или цилиндрическую форму. Количество стержневых ящиков в модельном комплекте один-два; в нем отсутствуют фальшивки, щитки и шаблоны. Модели не имеют бобышек, взаимно пересекающихся отверстий, а также переплетений ребер.

К модельным комплектам средней сложности относят неразъемные или разъемные модели и стержневые ящики любых габаритных размеров. Стержневые ящики и контуры моделей имеют несложные переходы, не требующие их выполнения по шаблонам с использованием ручного инструмента. В модельный комплект входят фальшивки, щитки, прямолинейные и с незначительными искривлениями шаблоны. На моделях имеются бобышки, взаимно пересекающиеся отверстия и ребра.

Сложные модельные комплекты — модели и стержневые ящики любых габаритных размеров, имеющие сложные контуры, а также криволинейные переходы, выполняемые по шаблонам с применением ручного инструмента. Модели и стержневые ящики имеют бобышки, знаковые части, взаимно пересекающиеся отверстия, прямолинейные и криволинейные ребра. В модельный комплект входят щитки и шаблоны.

В зависимости от применяемого материала модельные комплекты подразделяют на деревянные, металлические и неметаллические (пластмассовые, гипсовые, пенополистироловые

и др.). На выбор материала влияют тип производства и серийности заказа на изготовление отливок (табл. 26 и 27) [1].

Модельные плиты. При машинной, а в некоторых случаях и при ручной формовке модели укрепляют на одно- или двусторонние модельные плиты. Модельные плиты для машинной формовки изготовляют, как правило, из чугуна СЧ15 и выше, но если масса модельной плиты лимитирована, то модельные плиты изготовляют из алюминиевых сплавов АЛ3В, АЛ4В, АЛ9В, АЛ10В, АЛ14В. При мелкосерийном производстве для плит используют дерево с окантовкой металлом проушин для центровочных штырей и мест контакта плиты с опокой.

Литейные опоки. Основными требованиями, предъявляемыми к опокам, являются высокая прочность, жесткость и минимальная масса. Опоки изготовляют цельнолитыми из чугуна (марок не ниже СЧ15), стали (марок 15Л—45Л) и алюминиевых вторичных сплавов; сварные — из литых стальных элементов (20Л—30Л) либо из стандартизованного или специального проката; свертные (сборные) — из чугуна и стали.

Сушильные плиты, используемые для сушки стержней, подразделяют на плоские литые и сварные и фасонные литые. Литые плиты изготовляют из вторичных алюминиевых сплавов марок АЛ3В, АЛ7В, АЛ10В, АЛ14В и чугуна марок не ниже СЧ15; сварные плиты — из листовой и полосовой сталей, стальной ленты и из сталей Ст1, Ст2, Ст3.

Центрирующие штыри и скобы (для спаривания опок и полуформ) изготовляют соответственно из сталей 40—45 (с последующей закалкой на сравнительно высокую твердость и шлифовкой) и 30Л.

Холодильники используют для создания направленного затвердевания или ускорения охлаждения наиболее массивных частей отливки. Различают холодильники наружные и внутренние (по отношению к отливке).

Для изготовления наружных холодильников при цветном литье используют бронзу, чугун (СЧ18, СЧ20) и мягкую сталь. Наружные холодильники могут быть получены литьем (фасонные холодильники) или из проката. Рабочую поверхность холодильников обычно покрывают той же краской, что и саму форму.

Внутренние холодильники чаще всего выполняют из того же материала, что и отливки. Непременным условием применения внутренних холодильников является их полное расплавление. Иногда внутренние холодильники являются также и арматурой. В качестве холодильников используют проволоку, прутки, полосы, стружку и опилки. Внутренние холодильники устанавливают в труднодоступных массивных частях; их объем составляет 8—12 % объема металла в захолаживаемом месте отливки.

Каркасы различных конструкций применяют для повышения конструктивной прочности и жесткости стержней.

Каркасы не должны мешать выполнению в стержнях вентиляционных каналов, препятствовать усадке отливок при охлаждении; конструкция каркасов должна обеспечивать их свободное удаление из отливок для повторного использования.

Рекомендуются следующие типы каркасов: для стержней первого класса — простые, связываемые из проволочных (тонкая проволока) элементов или изготовленные из формовочных шпилек; второго класса — сложные и особо сложные связываемые проволочные каркасы, а также литые рамочные каркасы с проволочными торцами, изогнутыми в соответствии с конфигурацией стержня; третьего класса — проволочные связываемые или разборные каркасы; для больших цилиндрических стержней — стальная труба с отверстиями, расположенными по всей поверхности в шахматном порядке, а также сварные каркасы, сочетающие в себе плоское цилиндрическое основание и стальную трубу с отверстиями; четвертого и пятого классов — сварные рамочные каркасы (могут быть использованы также объемные и коробчатые сварные каркасы).

Проволочные каркасы изготовляют из низкоуглеродистой стальной (5Ст1кп, В2Ст2кп) проволоки ∅ 3—

26. Сравнительная характеристика материалов для модельных комплектов

Материал модельного комплекта	Преимущество	Недостаток
Сосна, ель, бук и др.	Хорошая обрабатываемость, низкая стоимость	Склонность к деформации (коробление, усушка), низкая прочность
Алюминиевые сплавы по ГОСТ 2685—75: АЛ3В, АЛ7В, АЛ10В, АЛ14В, АЛ12 (для крупных моделей)	Хорошая обрабатываемость, коррозионная стойкость, небольшая плотность	Низкая прочность и высокая стоимость
Серый чугун не ниже марки СЧ15 по ГОСТ 1412—85	Высокая прочность, хорошая обрабатываемость	Склонность к коррозии, большая плотность
Стали: 15, ..., 50 по ГОСТ 1050—74; Ст0, ..., Ст6 по ГОСТ 380—71	Высокая прочность и малая шероховатость обработанной поверхности	Склонность к коррозии, большая плотность
Бронза и латунь	Высокая прочность и малая шероховатость обработанной поверхности, неокисляемость	Большая плотность и высокая стоимость
Свинцово-сурьмянистые сплавы 5 % Zn; 15 % Sb; остальное Pb или 15 % Sb; 14 % Bi, остальное Pb	Хорошая обрабатываемость	Большая плотность и высокая стоимость, низкая прочность
Гипс кальцинированный или строительный (50 % гипса, 50 % воды)	Простота изготовления модельного комплекта, низкая стоимость	Высокая шероховатость обработанной поверхности, низкая прочность
Цемент (50 % цемента, 50 % кварцевого песка)	Простота изготовления модельного комплекта	То же
Пластмассы ЭД-20 и ЭД-16 по ГОСТ 10587—84, акриловые самотвердеющие составы	Высокая прочность, простота изготовления модельного комплекта, не требующая, практически, обработки резанием	Токсичность
Пенополистирол	Простота изготовления модельного комплекта, низкая плотность	Разовое использование (газифицируются)

Примечания: 1. Ориентировочная стоимость изготовления модельного комплекта из дерева, алюминиевых сплавов, чугуна, стали относится как 1 : 8 : 12 : 15.

2. Составы приведены в массовых долях.

27. Примерный срок эксплуатации модельных комплектов до капитального ремонта в зависимости от материала комплекта [1]

Материал модельного комплекта	Максимальное число формовок для модельных комплектов					
	мелких	средних	крупных	мелких	средних	крупных
	Ручная формовка			Машинная формовка		
Дерево	500	250	100	1 000	500	300
Алюминий	—	—	3000	50 000	30 000	10 000
Чугун	—	—	—	100 000	75 000	—
Сталь	—	—	—	100 000	—	—
Бронза и латунь	—	—	—	—	150 000	—
Свинцово-сурьмянистый сплав	500	—	—	3 000	—	—
Гипс	250	100	—	1 000	500	—
Цемент	—	350	—	—	1 000	—
Пластмасса	—	—	—	50 000	30 000	—
Пенополистирол	100	20	2	200	—	—

8 мм. Может быть использована отожженная проволока. Каркасы изготовляют: литые — из чугуна СЧ10, СЧ15, СЧ20; сварные — стального прутка или уголка; трубчатые — из труб стальных водопроводных.

Жеребейки используют для укрепления стержней при сборке форм. Материал жеребейки тот же, что и материал отливки, т. е. при литье медных сплавов применяют медные жеребейки, при литье алюминиевых сплавов — алюминиевые жеребейки. Они могут быть изготовлены литьем или штамповкой; часто используют сборные жеребейки, состоящие из одной, двух или четырех стоек и пластин.

3. Защитные и огнеупорные покрытия форм и стержней

Универсальные покрытия для литейных форм, которые давали бы нужный эффект при всех видах литья, не разработаны. Все известные покрытия проявляют свое положительное действие только в определенном интервале температур при данном составе формовочной смеси и при конкретном виде литья.

Зерновая основа покрытия должна соответствовать заливаемому сплаву и материалу формы; основные оксиды сплава и формовочной смеси нельзя сочетать с кислой зерновой основой покрытия и наоборот. Только покрытия из нейтральных огнеупорных материалов можно применять в сочетании с формами, материал которых содержит кислые или основные окислы. Недопустимо также применение в составе краски двух наполнителей, которые могут вступать между собой в химическое взаимодействие. Огнеупорность припыла или наполнителя краски должна быть выше температуры заливаемого сплава. Исключение составляют наполнители активных красок, которые должны легко расплавляться под действием теплоты залитого металла, а также добавки, предназначенные для получения стекловидного легкоотделяемого пригара.

Для приготовления противопригарных красок не рекомендуется использовать особо мелкие наполнители, так как их использование приводит (из-за большой удельной поверхности) к повышению расхода связующего, а покрытие после сушки часто растрескивается и отслаивается. Поэтому, на-

пример, черный графит применяют совместно с более крупным серебристым графитом (отношение массовых долей графитов соответственно 2 : 1 или 3 : 1). Для снижения склонности к образованию трещин и повышения газопроницаемости слоя в графитовые краски добавляют молотый кокс.

Во всех случаях рекомендуется применять светлые огнеупорные покрытия. Светлая форма имеет более опрятный вид, лучше просматривается при сборке и меньше подвержена разрушению под действием тепловой радиации жидкого металла. Для предотвращения образования поверхностных дефектов отливок наряду с огнеупорной составляющей в краску вводят теплоизоляционные материалы.

Выбор дисперсионной среды (растворителя) также зависит от принятой технологии формы и свойств смесей. Если формы (стержни) просушиваются в сушилках или подсушиваются, в качестве дисперсионной среды целесообразно применять воду. Водные краски наиболее термостойки и технологичны, так как они не токсичны, негорючи и обладают высокой живучестью.

При изготовлении форм из жидкостекольных смесей по CO_2-процессу, самотвердеющих и наливных (НСС) применять водные краски нерационально, поскольку их необходимо подсушивать, что удлиняет технологический цикл и снижает эффективность прогрессивной скоростной технологии. При выборе органического растворителя учитывают скорость его испарения, токсичность и взрывоопасность. Если в состав краски входят два или несколько растворителей, то они должны быть взаимно растворимы.

Стабилизирующее вещество должно растворяться в выбранном растворителе без осадка и сворачивания. Некоторые из веществ обладают одновременно связующими и стабилизирующими свойствами и хорошо сочетаются с растворителем. Однако использовать эти вещества для сокращения числа компонентов краски не всегда рекомендуется. Например, достаточную седиментационную устойчивость и прочность водной краски можно получить, добавляя только глину. Но повышенное содержание глины снижает огнеупорность краски и повышает ее склонность к образованию трещин после просушки. Поэтому в данном случае целесообразнее заменить часть глины каким-либо органическим связующим или стабилизатором. Аналогично поступают и при разработке составов быстросохнущих красок, если выбранное вещество (стабилизатор-связующее) не полностью отвечает требованиям к покрытиям, особенно по термостойкости.

Связующие материалы должны также полностью растворяться в выбранном растворителе и сочетаться со стабилизатором. Не сочетаются поливинилбутираль с пульвербакелитом ПК-104 — при сливании спиртовых растворов этих веществ выпадает осадок. Поливинилбутираль в спиртовых растворах хорошо сочетается с канифолью, а также с этилсиликатом. Карбоксиметилцеллюлоза хорошо сочетается с водорастворимыми связующими: сульфитно спиртовой бардой, сульфитно-дрожжевой бражкой, патокой и гидролом. Сульфитно-спиртовая барда и сульфитно-дрожжевая бражка являются поверхностно-активными веществами и хорошо разжижают суспензии, но вместе с тем снижают седиментационную устойчивость красок. Поэтому в красках, содержащих тяжелые наполнители (циркон, магнезит), применять барду и бражку не рекомендуется.

Для повышения седиментационной устойчивости краскам придают тиксотропное состояние. Тиксотропия значительно улучшает технологические свойства красок. Краски, обладающие тиксотропией, не стекают с кисти, легче удерживаются на вертикальных поверхностях без подтеков (причем более толстым слоем), более устойчивы против расслоения. Тиксотропные свойства краскам придают натриевые бентониты. В красках, содержащих каолиновые глины, тиксотропность появляется при добавлении едкого натра и повышении pH раствора. Тиксотропию водных красок повышают созданием в них нейтральной или щелочной среды. Тиксотропность водным краскам придают и водорастворимые силикаты щелочных метал-

лов общей формулы $(M_2O)_n \cdot SiO_2$, где M — щелочной металл.

Краски, содержащие спиртовой раствор поливинилбутираля, приобретают тиксотропные свойства при добавлении к ним марганцевокислого калия. В краски, приготовленные на 2 %-ном растворе поливинилбутираля, достаточно ввести 3 % (мас. доля) марганцевокислого калия в жидкую среду.

При выборе связующего для быстросохнущих красок следует отдавать предпочтение материалам, полимеризующимся при комнатной температуре и наиболее термостойким.

Растворители должны быть такими, чтобы приготовленная краска хорошо смачивала формовочную смесь и, следовательно, хорошо проникала в стенки формы, прочно сцеплялась с ней и не отслаивалась после сушки. Краска, которая не смачивает материал формы, не проникает глубоко в поры между зернами смеси и слабо сцепляется с ее поверхностью. Интенсивность проникновения водных красок, содержащих шесть частей глины и четыре части сульфитно-спиртовой барды, зависит от способности красок смачивать пленки связующего материала, которые обволакивают зерна смеси. При этом наибольшее количество водной краски поглощается поверхностью жидкостекольных форм, так как пленки жидкого стекла хорошо смачиваются водой, но при контакте с краской не разбухают и размер пор не сокращается. Пленки сульфитно-спиртовой барды и связующего КВС-2 набухают в воде, поступающей с краской, и размер пор сокращается. В связи с этим смеси, содержащие такие связующие, плохо впитывают водные краски.

Поскольку все органические растворители в известной степени токсичны, необходимо при их выборе учитывать интенсивность воздухообмена на рабочих местах и степень механизации процесса окрашивания.

Оптимальная вязкость водных красок, при которой обеспечивается прочное сцепление их с поверхностью форм, составляет для цирконовых смесей 50—60 с (по ВЗ-3) и дистенсиллиманитовых 75—85 с.

Для стабилизации красок используют высокомолекулярные вещества (КМЦ, альгинат натрия и др.), образующие при небольшой концентрации (3—5 %) структурированные растворы вязкостью 20—25 с. Для приготовления быстросохнущих красок применяют 4 %-ный раствор поливинилбутираля в спирте вязкостью 17—20 с. Плотность цирконовых красок, приготовленных на этом стабилизирующем растворе, 1800 — 2000 кг/м^3 при вязкости 30—55 с.

Водные краски применяют главным образом для форм и стержней, подвергаемых сушке, в отдельных случаях — для форм и стержней из самотвердеющих смесей с поверхностной подсушкой слоя краски. Составы водных противопригарных красок с органическими связующими материалами для различных цветных сплавов приведены в табл. 28.

Водные противопригарные краски с неорганическими связующими — (табл. 29) применяют главным образом при литье массивных отливок из медных сплавов. Характерная особенность этих красок — наличие связующего материала в виде водных растворов сульфатов алюминия и магния, а также триполифосфата натрия, которые придают краскам высокую термостойкость. Эти связующие материалы в процессе разложения при 700—1000 °С прочно спекаются в химически инертные к окислам металла состояния (это и обеспечивает термостойкость краски). Упрочнение слоя краски происходит после испарения влаги при 100—200 °С, поэтому окрашенные формы и стержни подвергают сушке при этой температуре. Краски на неорганическом связующем приготовляют из паст (густотертых красок) — пастообразных композиций ТБ-П и ТБ-ПК (ПТУ 2-043-441—73) и порошкообразной композиции ПК-Т-1 (ПТУ 2-043-443—74).

В табл. 30 приведены составы самотвердеющих водных красок, которые не требуют подсушки. В качестве связующего материала в эти краски добавляют сульфигно-спиртовую барду. Окислителем связующего является добавка персульфата аммония $[(NH_4)_2S_2O_8]$, который придает краске способность к самотвердению. Для

28. Водные противопригарные краски с органическими связующими материалами [10, 73]

Компоненты краски	Содержание компонента, % (мас. доля)	Компоненты краски	Содержание компонента, % (мас. доля)
Отливки из медных сплавов		*Отливки из алюминиевых и медных сплавов*	
1. Молотый тальк	31	3. Молотый тальк	61
Аморфный графит	30	Бентонит	4
Бентонит	3	Вода	35
Патока (плотность 1300 кг/м³)	3	4. Молотый тальк	92,4
Вода	33	Бентонит	1,8
2. Графит	54,4	Декстрин	3,4
Бентонит	3,4	Связующие марки ДП	2,4
Пектиновый клей	3	Вода	36 *
Мылонафт	0,2	5. Молотый тальк	92,5
Вода	39	Бентонит	3,1
		Крахмалит	1,6
		Связующие марки ДП	2,8
		Вода	35 *

* Сверх 100 %.

Примечания: 1. Плотность приведенных красок 1350—1400 кг/м³.
2. Для предотвращения брожения в каждые 100 кг краски вводят 40 см³ антисептической добавки — формалина.

29. Состав [% (мас. доля)] водных противопригарных красок с неорганическими связующими материалами [10, 73]

Наполнитель			Связующий материал				Растворитель				Плотность краски, кг/м³
			Водные растворы					Водный раствор ПВС или КМЦ вязкостью по ВЗ-4, с			
Циркон	Дистенсиллиманит	Жидкое стекло	сульфата алюминия плотностью 1250 кг/м³	сульфата магния плотностью 1200 кг/м³	триполифосфата натрия плотностью 1150 кг/м³	Бентонит	Вода	20—22	35—40	50—55	
68	—	5	—	—	—	—	—	27	—	—	1920—1950
68	—	—	20	—	—	2	10	—	—	—	1950—2000
68	—	—	—	15	—	—	—	—	17	—	1900—1950
—	45	—	—	15	—	—	—	40	—	—	1450—1500
68	—	—	—	—	15—20	—	—	—	—	12—17	1900—1950

30. Составы [% (мас. доля)] самотвердеющих водных противопригарных красок [73]

Номер краски	Содержание, % (мас. доля)							Плотность краски, кг/м³
	наполнителя		связующего материала КБЖ	добавок			растворителя (воды)	
	циркона	скрытокристаллического графита		технической мочевины	окиси цинка	персульфата аммония		
1	72,5—73,5	—	8,0	0—5,0	0—0,5	4,0	14—19	2000—2200
2	50							1800—2000
3	—	33,0—33,5	10,0	10—15	0—0,5	2,5	25—30	1350—1400
4		46,0—50,0						

Примечание. В краску № 2 добавляют 22,5—23,0 % (мас. доля) пылевидного кварца; в краску № 3 — 16,5 % (мас. доля) кристаллического графита.

получения требуемой плотности при оптимальном количестве воды в состав краски вводят добавку технической мочевины. В отличие от обычных водных красок, из которых при сушке вода испаряется, из этих красок вода не испаряется, а лишь химически связывается. Поэтому в отдельных случаях, во избежание вскипов жидкого металла, формы и стержни подсушивают. Водные самотвердеющие покрытия применяют в случае изготовления форм и стержней из самотвердеющих смесей.

Самовысыхающие краски приготовляют на быстроиспаряющихся неорганических растворителях, для возгонки которых необязательно применять сушку. Самовысыхающие покрытия наносят на формы и стержни, изготовляемые из самотвердеющих смесей. Состав самовысыхающей противопригарной краски, % (мас. доля): талька 42; поливинилбутираля 2,5; этилового спирта 55,5. Плотность краски 1750—1850 кг/м³. В качестве связующего материала в состав красок вводится поливинилбутираль, в качестве растворителя — этиловый спирт. В тех случаях, когда необходимо получить отдельные поверхности отливок с особо низкой шероховатостью, используют натирочные пасты, содержащие, % (мас. доля) [73]:

для медных и алюминиевых сплавов — молотого талька 15; кристаллического графита 70; формовочной глины 15; воды (сверх 100 %) 20—25;

для магниевых сплавов — молотого талька 90—93; формовочной глины 2—5; борной кислоты 5; воды (сверх 100 %) 30—40.

Защитные покрытия кокилей разнообразны как по составу, так и по назначению. Наиболее часто используют облицовки и термоизоляционные краски.

Облицовки представляют собой достаточно толстые слои формовочных смесей, наносимых непосредственно на шероховатую поверхность кокилей. Облицовку из песчано-глинистой массы применяют главным образом для утепления отдельных участков крупных кокильных отливок. В утепляемых местах стенок кокиля выполняют углубления, соответствующие толщине наносимого слоя, и предусматривают в этих местах сквозные отверстия для отвода газа.

Облицовку из сыпучих песчано-смоляных смесей вдувают в зазор, обра-

31. Кокильные краски для литья алюминиевых сплавов

Компоненты краски	Массовая доля, г	Температура кокиля, °С
1. Трудновоспламеняющееся минеральное масло	500	
Керосин	200	60—200
Канифоль	30	
Алюминиевый порошок	10	
2. Цинковые белила (сухие)	15	
Асбестовая пудра	5	150—200
Жидкое стекло	3	
Вода	77	
3. Асбестовый порошок	8,7	
Мел	17,5	150—200
Жидкое стекло	3,5	
Вода	10,3	

Примечания: 1. Краски № 1 и 2 применяют для покрытия рабочих поверхностей, краска № 3 — для покрытия литников.

2. Краски № 1 и 2 наносят с помощью пульверизатора.

вующийся между нагретой моделью и кокилем. Толщина облицовки составляет 4—12 мм.

Для приготовления кокильных теплоизоляционных красок используют наполнители с возможно меньшей теплопроводностью и с коэффициентом линейного расширения в интервале рабочих температур, близких к коэффициенту расширения материала формы.

Материал с высоким коэффициентом линейного расширения, такой как пылевидный кварц, используют в сочетании с теплоизоляционными материалами, которые частично компенсируют тепловое расширение кварца. Графит менее других материалов пригоден для приготовления защитных покрытий, так как он обладает высокой теплопроводностью, а следовательно, плохо предохраняет металлическую форму от термических воздействий при заливке расплава.

Составы кокильных красок для литья алюминиевых сплавов приведены в табл. 31, для литья магниевых сплавов — в табл. 32 [72].

Краски, снижающие шероховатость поверхности отливок из алюминиевых и магниевых сплавов при литье в кокиль (табл. 33 и 34) [72], содержат более дисперсные наполнители, чем теплоизолирующие краски. Молотый асбест как грубодисперсный материал в этих красках не применяют, а скрытокристаллический графит за-

32. Кокильные краски для литья магниевых сплавов

Номер краски	Массовая доля, %					Область применения
	прокаленного асбеста	мела	жидкого стекла	борной кислоты	воды	
1	—	—	3,0	4,0	78,0	При получении отливок сложной конфигурации
2	—	5,0	2,0	2,0	86,0	При получении средних и мелких отливок
3	15,0	10,0	3,0	4,0	68,0	Утепление выпоров и литников
4	6,0	—	2,0	2,5	84,5	Окраска выпоров и литников
5	25,0	2,0	6,5	—	100	Окраска прибылей и литников

Примечание. Краски также содержат, % (мас. доля): № 1 — окиси магния 15; № 2 — талька 5; № 4 — окиси цинка 5.

33. Составы красок, снижающие шероховатость поверхности отливок из алюминиевых сплавов

Компоненты краски	Массовая доля, %	Область применения
1. Окись цинка Жидкое стекло Вода	4,0—6,0 1,5—2,0 Остальное	Для рабочих поверхностей форм
2. Окись цинка Графит коллоидальный Жидкое стекло Вода	4,0—5,0 0,8—1,5 1,2—1,5 Остальное	Для рабочих поверхностей форм и стержней, когда имеются глубокие полости и малые уклоны

34. Краски, снижающие шероховатость поверхности отливок из магниевых сплавов

Компоненты краски	Содержание, % (мас. доля)	Область применения
1. Графит коллоидальный Борная кислота Жидкое стекло Вода	1,8 5,5 2,7 Остальное	Для рабочих поверхностей кокилей при литье тонкостенных отливок
2. Тальк белый Борная кислота Жидкое стекло Вода	8,5 2,5 2,5 Остальное	Для рабочих поверхностей кокилей при литье толстостенных отливок
3. Мел тонкомолотый Борная кислота Жидкое стекло Вода	8,5 2,5 2,5 Остальное	

меняют коллоидальным. Для приготовления красок, снижающих шероховатость поверхности отливок, применяют наполнители с размером частиц не более 10 мкм.

При литье алюминиевых сплавов поверхности кокилей окрашивают также суспензией, которая состоит из жидкого стекла и оксида железа. Такое покрытие выдерживает 150—170 заливок.

4. Особенности регенерации отработанных песков и смесей

Для выпуска 1 т отливок, в зависимости от массы и конфигурации, размера опок и прочих факторов, расходуют 4—12 т формовочных смесей и около 1 т стержневых. Для снижения расхода свежих песков применяют регенерат, получаемый из отработанных формовочных и стержневых смесей. Используются механические, пневматические, термические, гидравлические и комбинированные методы регенерации отработанных смесей. Механические методы — самые простые и экономичные, комбинированные — наиболее сложные и дорогостоящие.

Выбор способа регенерации определяется составом отработанной смеси и требованиями, предъявляемыми к регенерату. Регенерируемый песок должен, как правило, соответствовать

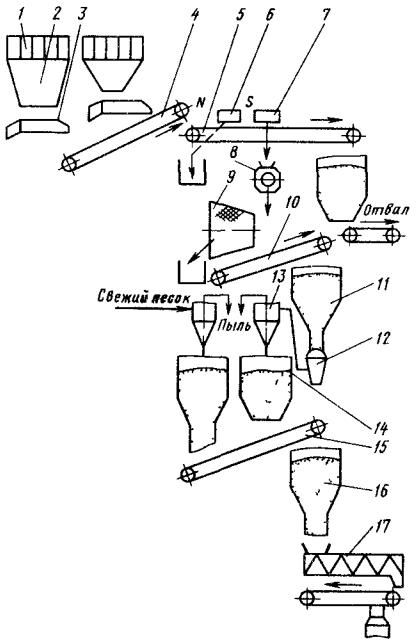


Рис. 1. Схема механической регенерации холоднотвердеющих смесей:

1 — выбивная решетка, *2* — бункер, *3* — вибропитатель, *4*, *5*, *10* и *15* — ленточные конвейеры, *6* — электромагнитный железоотделитель, *7* — сбрасыватель, *8* — роторная дробилка, *9* — полигональное сито, *11*, *14* и *16* — бункера, *12* — пневмонасос, *13* — приемное устройство, *17* — смеситель

требованиям ГОСТ 2138—84 на кварцевые пески.

Регенерации подвергают отработанные смеси с участков выбивки форм и стержней, в том числе из гидрокамер, а также отработанные смеси из различных точек литейного цеха.

Механический способ регенерации применяют для восстановления песка из отработанных песчано-глинистых и холоднотвердеющих смесей. Процесс регенерации после выбивки форм состоит из магнитной сепарации, дробления, оттирки пленок с поверхности зерен, грохочения, классификации (обеспыливания) и охлаждения регенерата (рис. 1).

Типовая технология механической регенерации песков из отработанных холоднотвердеющих смесей на синтетических смолах содержит следующие операции (после обработки на выбивающей решетке): магнитную сепарацию, дробление, оттирку, грохочение, охлаждение, рассеивание и обеспыливание. Применяются механические регенерационные установки производительностью, т/ч: 5, 10, 20, 30, 40 и 60.

Процесс пневморегенерации является частным случаем механической регенерации и характеризуется обязательным наличием операций оттирки пленок, осуществляемой многоступенчатыми пневморегенератами.

Термический способ применяют для регенерации песка из отработанных смесей на смоляных связующих, в которых инертные пленки не отделяются полностью от зерен песка при оттирке и не размокают в потоке воды.

Термическую регенерацию осуществляют по схеме: выбивка — магнитная сепарация—грохочение—дробление—обжиг—охлаждение (рис. 2). Для обжига смеси при 750—900 °С применяют вертикальные многоподовые барабанные печи или установки кипящего слоя.

Песок, поступивший из печи обжига при температуре, примерно равной 550 °С, попадает в барабан, продуваемый холодным воздухом, где происходят дожигание пленок и охлаждение песка. Для ускорения охлаждения песок обрызгивают водой, чтобы на выходе понизить температуру регенерата до 60—85 °С. Термическую регенерацию применяют также при обработке отработанной смеси, содержащей остатки оболочковых стержней.

Процесс гидрорегенерации включает в себя сухую или мокрую подготовку отработанной смеси к регенерации (дробление, магнитную сепарацию, грохочение), первичную промывку (классификацию), оттирку пленок, вторичную промывку, обезвоживание и сушку регенерата. Гидравлический способ используют в основном при регенерации песка из песчано-глинистых смесей и из продуктов гидровыбивки.

При мокрой регенерации наиболее полно удаляют из песка глинистую

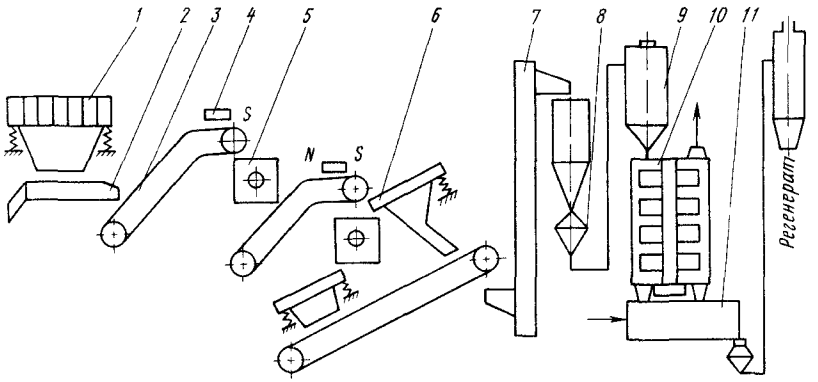


Рис. 2. Схема термической регенерации холоднотвердеющих смесей:
1 — выбивная решетка; *2* — вибропитатель; *3* — ленточный конвейер; *4* — магнитный сепаратор; *5* — роторная дробилка; *6* — грохот; *7* — элеватор; *8* — насос; *9* — бункер; *10* — печь обжига; *11* — охладитель

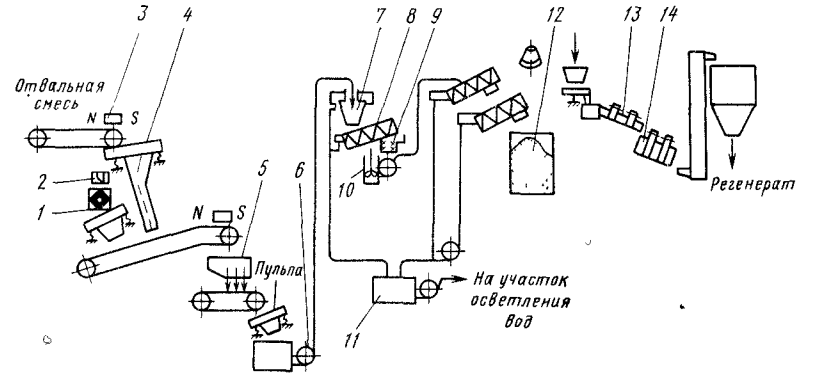


Рис. 3. Схема гидравлической регенерации смесей:
1 и *2* — дробилки; *3* — электромагнитный железоотделитель; *4* — грохот; *5* и *11* — баки; *6* — насос; *7* — конический классификатор; *8* — спиральный классификатор; *9* — оттирочная машина; *10* — мешалка; *12* — дренажный закром; *13* — барабанное сушило; *14* — барабанный охладитель

составляющую. Благодаря предотвращению пылеобразования обеспечиваются лучшие санитарно-гигиенические условия труда в литейных цехах по сравнению с другими способами. Недостатком гидравлической регенерации является необходимость в сушке и последующего охлаждения регенерата. Схемы гидравлической регенерации смесей показаны на рис. 3 и 4.

Комбинированные методы регенерации используют при переработке отработанных смесей сложного состава.

Производительность (т/ч) оборудования для регенерации песков из отработанных смесей:

Оттирочные машины 14811	10
Чаны 14711 для перемешивания пульпы	5
Бесконтактные водяные противоточные охладители модели . . .	5

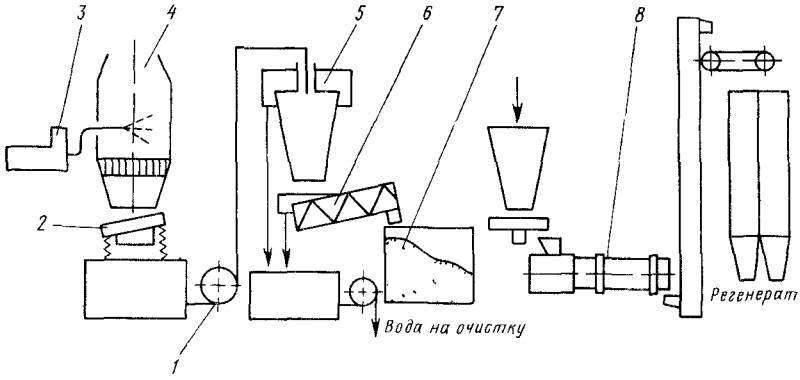


Рис. 4. Схема регенерации отработанных смесей, поступающих из гидрокамер: *1* — насос; *2* — сито; *3* — гидромонитор; *4* — гидрокамера; *5* — конический классификатор; *6* — спиральный классификатор; *7* — дренажный закром; *8* — барабанное сушило

Глава VI
ПЛАВКА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

Плавкой называют комплекс физико-химических процессов, протекающих в плавильных печах при переработке заранее подготовленных материалов. Целью плавки является получение при определенной температуре сплава в жидком состоянии заданного химического состава, обладающего необходимыми литейными свойствами.

Технология плавки содержит различные операции, проводимые в течение времени, регламентируемого типом плавильной печи, ее вместимостью и составом сплава.

Процесс плавки целесообразно рассматривать, применяя метод системного анализа. Системами объекта являются вход, операции процесса, выход и обратная связь (рис. 1). Вход состоит из обрабатываемого материала и оборудования, на котором обработка осуществляется. И то, и другое вместе составляют процессор. Для осуществления плавки необходимо два основных элемента, образующих процессор· рабочее пространство плавильной печи и источник генерации тепловой энергии. Выход — результат процесса. Процесс (операции) превращает вход в выход [15].

Обратную связь составляют: модель воздействия, проверка соответствия, модель выхода. Моделью выхода является состав, структура и свойства сплава, которые должны быть обеспечены данным процессом.

Все процессы плавки цветных сплавов можно подразделить на монопро-

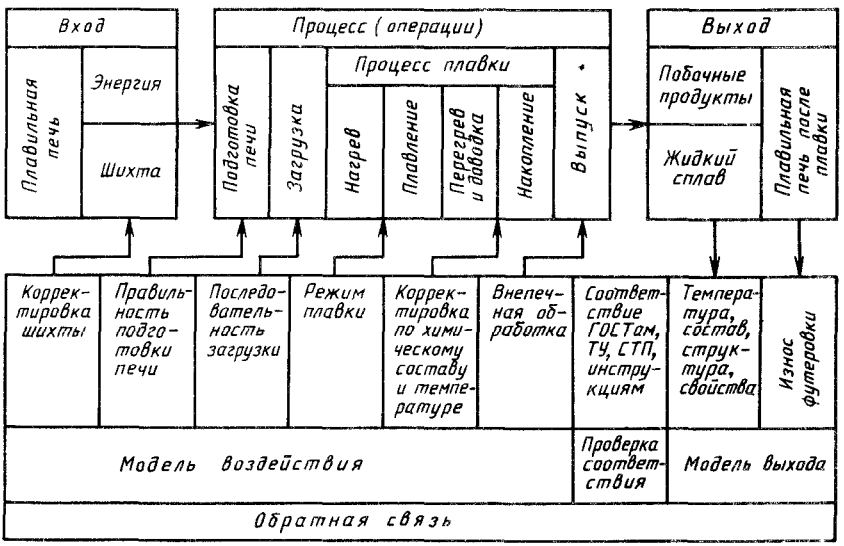


Рис. 1. Схема системного анализа плавки литейных сплавов

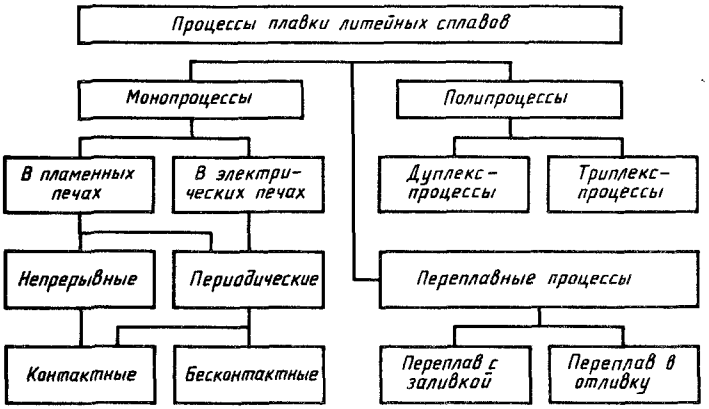


Рис. 2. Классификация процессов плавки литейных сплавов

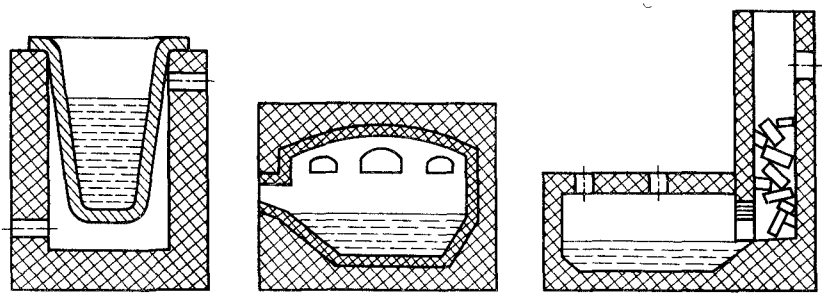
цессы и полипроцессы (рис. 2). Характерной особенностью монопроцесса, наиболее распространенного при литье цветных сплавов, является осуществление всех операций плавки в одной плавильной печи. Полипроцессная плавка или доводка металла осуществляется постадийно в двух или нескольких плавильных печах или установках. Полипроцессы применяют в крупносерийном и массовом производстве отливок и особенно при очень высоких требованиях к сплавам по наличию в них вредных примесей.

Параметрами процесса плавки являются температура и давление, которые зависят от типа плавильного агрегата и назначения (химического состава) сплава. Температурные интервалы (°С) плавки цветных сплавов на основе: цинка — 420—480, магния — 650—720, алюминия — 720—780, меди — 1000—1250, никеля — 1400—1650, титана — 1650—1800.

1. Классификация плавильных печей

По виду используемой для плавки сплавов энергии плавильные печи подразделяются на пламенные и электрические. Пламенные печи (рис. 3) подразделяют на тигельные (Т), отражательные (О), шахтно-ванные (ШВ).

В электрических печах электро-



а) *б)* *в)*

Рис. 3. Схемы топливных плавильных печей:
а — тигельная; *б* — отражательная; *в* — шахтно-ванная

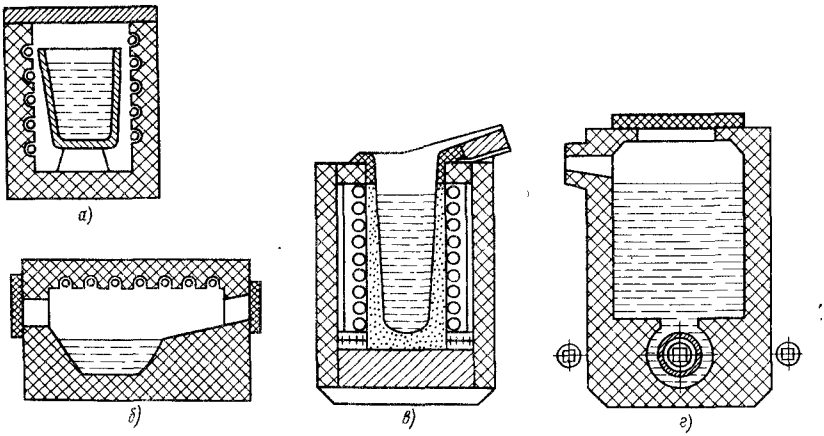


Рис. 4. Схемы электрических плавильных печей сопротивления и индукционных: *а* — тигельная; *б* — отражательная; *в* — индукционная тигельная; *г* — индукционная канальная

энергия преобразуется в тепловую энергию, которая передается в рабочую камеру с помещенными в ней нагреваемыми материалами. Электрические печи классифицируют по способу преобразования электрической энергии в тепловую и передачи ее к нагреваемым материалам; различают печи (рис. 4 и 5): сопротивления, индукционные, электродуговые, плазменные, электрошлаковые, электронно-лучевые.

Условные обозначения электрических печей приведены на рис. 6.

Печи сопротивления применяются для плавки свинцовых, оловянных, цинковых, магниевых и алюминиевых сплавов.

В индукционных плавильных печах нагревают электропроводящие материалы, помещая их в переменное электромагнитное поле. По конструктивному исполнению индукционные печи подразделяются на тигельные и канальные.

Электродуговые печи по принципу передачи тепла подразделяются на печи косвенного и непосредственного нагрева.

В печах косвенного нагрева теплота передается излучением непосредственно от дуг и футеровки (см. рис. 5, *а*); в печах непосредственного нагрева — от дуги (см. рис. 5, *в* и *г*). Среди дуговых вакуумных печей наибольшее распространение получили печи с расходуемым электродом при переплаве в водоохлаждаемый кристаллизатор тугоплавких и химически активных цветных металлов и сплавов на их основе.

В основу электронно-лучевого переплава (ЭЛП) металлов положен принцип преобразования электрической энергии в тепловую вследствие бомбардировки поверхности металла потоком свободных электронов.

Для осуществления ЭЛП необходимо иметь герметичную камеру, в которой создается вакуум (давление остаточных газов не более $7 \cdot 10^{-2}$ Па), поток свободных электронов и ускоряющее электрическое поле. Источником свободных электронов в электронной пушке является термокатод — нагретый до высокой температуры металлический материал, характеризующийся низкой работой выхода электронов. Имеются различные технологические схемы ЭЛП (см. рис. 5, *д*, *е*, *и*).

Среди разнообразных схем, предлагаемых для плавки металлов с помощью плазмы, наиболее перспективным является переплав в плазменно-

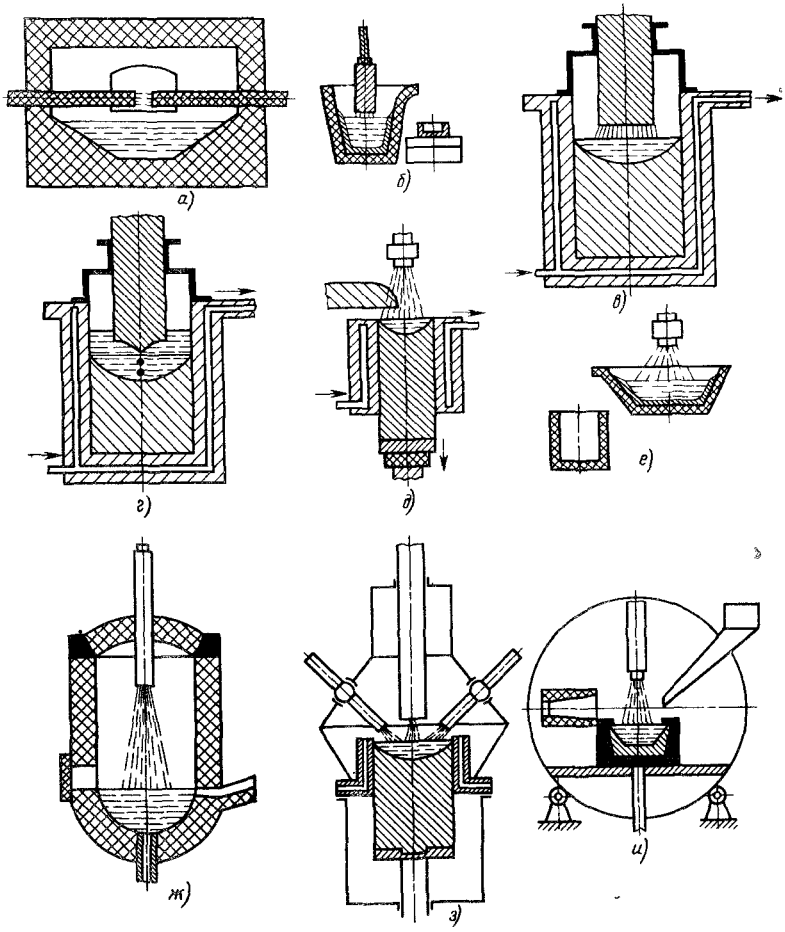


Рис. 5. Схемы специальных конструкций электрических плавильных печей: *а* — электродуговой косвенного действия, *б* и *в* — электродуговых для плавки соответственно в гарнисажном тигле и водоохлаждаемом кристаллизаторе, *г* — электрошлаковой печи; *д* и *е* — электронно-лучевой для плавки соответственно в водоохлаждаемом кристаллизаторе и тигле; *ж*, *з*, *и* — плазменные для плавки соответственно в огнеупорной камере, водоохлаждаемом кристаллизаторе и тигле.

дуговых печах (ПДП), которые могут работать на постоянном и переменном токе. ПДП в основном применяют двух типов: для переплава с кристаллизацией металла в водоохлаждаемом кристаллизаторе (см. рис. 5, *з*) и с накоплением жидкого металла в огнеупорном тигле (см. рис. 5, *и*).

2. Пламенные печи

В тигельных плавильных печах предусматривают графитовые, графитошамотные, литые, чугунные или сварные стальные тигли, в которых расплавляют шихтовые материалы и доводят сплавы до заданного химиче-

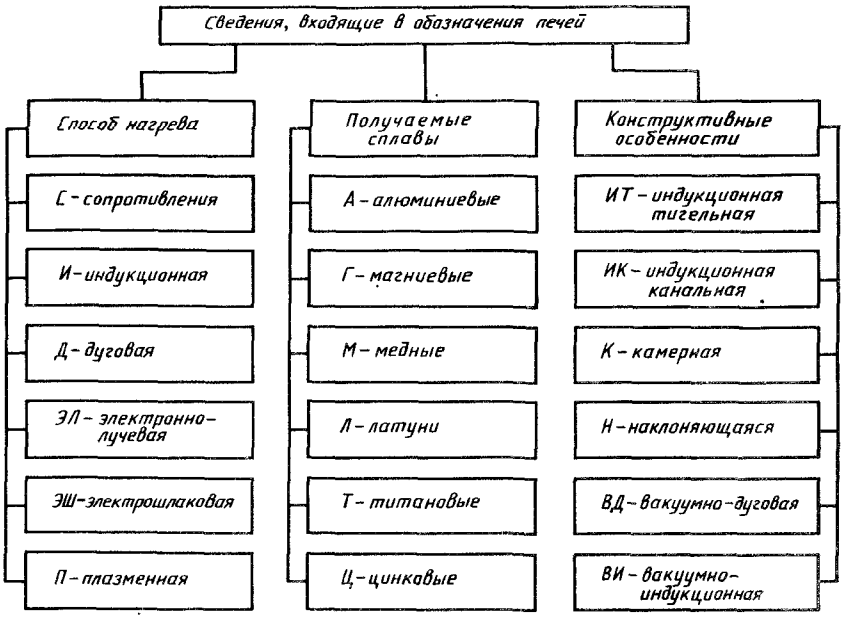


Рис. 6. Условные обозначения электрических печей

ского состава.

Стационарные и поворотные тигельные печи применяют для плавки, выдержки и подогрева оловянных, свинцовых, цинковых, магниевых, алюминиевых и медных сплавов.

Преимущества тигельных печей:

простота конструкции, надежность в эксплуатации;

хорошая маневренность при переходе от плавки сплава одного химического состава к сплаву с другим составом;

удобство проведения различных технологических операций (легирования, рафинирования, дегазации, модифицирования);

отсутствие контакта с продуктами сжигания топлива, что обеспечивает минимальный угар компонентов сплава и снижает возможность перехода *вредных газообразных примесей в металл*;

возможность применения для разливки металла отдельными порциями дозаторов, манипуляторов, роботов.

Недостатки тигельных печей:

малая вместимость (100—500 кг), невысокая производительность, повышенный расход топлива;

неудобство в разливке металла в случае необходимости вынимать тигель из печи или производить разбор разливочной ложкой (небольшим ковшом), что не только удлиняет продолжительность разливки, но и ухудшает качество металла (особенно последних порций), а следовательно, и отливок.

В качестве топлива применяют, как правило, газ, реже — мазут. Для сжигания газа применяют горелки низкого давления.

Для плавки магниевых сплавов применяются стальные тигли, для плавки оловянных, свинцовых, алюминиевых сплавов — чугунные, для плавки медных и алюминиевых сплавов — графитошамотные (*8—12 % графита*, 20—25 % шамота, 50—67 % огнеупорной глины). Вместимость графитошамотных тиглей — 0,5—500 кг. Условная единица вместимости — «марка» (объем, занимаемый 1 кг расплавлен-

ной меди). Зная плотность расплавляемого сплава, сопоставляя ее с плотностью меди, определяют массу сплава в тигле.

Недостатком металлических тиглей является растворение железа во время плавки и переход его в состав сплава, что ухудшает качество сплава. С целью предотвращения этого процесса внутреннюю поверхность тиглей и плавильного инструмента окрашивают или обмазывают специальными составами. Наибольшее распространение получила краска состава, % (мас. доля): оксида цинка 50, отмученного мела 50, жидкого стекла 5, воды 100. В состав краски могут входить коллоидный графит, огнеупорная глина и тальк. Перед нанесением краски поверхность подогревают до 80—90 °С.

В состав обмазки для тиглей входят магнезит, асбест и жидкое стекло. Смесь наносят на поверхность тиглей слоем толщиной 5—15 мм, высушивают и прогревают при 700—800 °С.

Для пламенных отражательных печей характерны повышенные вместимость (до 12—15 т) и производительность, возможность использования крупногабаритной шихты при механизированной загрузке, простота обслуживания. Эти печи применяют для плавки алюминиевых, реже — магниевых и медных сплавов в цехах фасонного литья с большим годовым выпуском и в цехах заготовительного производства. Они являются частью плавильно-литейных агрегатов; плавильная печь — раздаточные тигельные печи — литейная машина.

Сведения об эксплуатации и технические характеристики применяющихся в цветнолитейном производстве пламенных печей приведены в работах [2, 39].

3. Электрические печи

Печи сопротивления. Тигельные электропечи сопротивления используют для плавки алюминиевых сплавов, масса получаемого сплава до 250 кг (табл. 1 и 2). Эти печи применяют как плавильно-раздаточные для поддержания температуры расплава перед заливкой в кокиль или другие

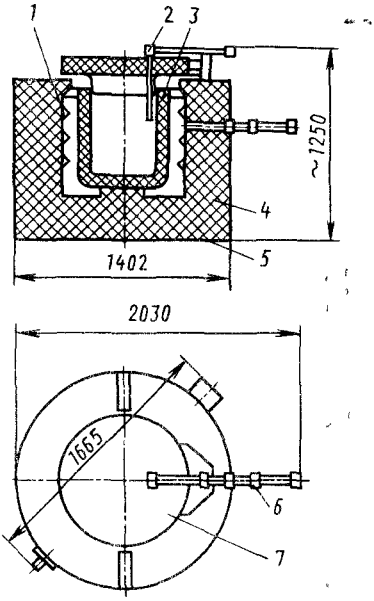


Рис. 7. Электропечь сопротивления САТ-0,16-И2:

1 — нагреватели; *2* и *6* — термопары; *3* — тигель; *4* — футеровка; *5* — кожух; *7* — крышка

формы, рафинирования и модифицирования сплавов.

Электропечи САТ (рис. 7) предназначены для рабочей температуры до 800 °С; работают на промышленной частоте 50 Гц; средний удельный расход электроэнергии 0,45—0,60 кВт·ч/кг; КПД печи 0,50—0,55.

В камерных электропечах сопротивления САК (табл. 3) применяют металлические и карборундовые нагреватели; в электропечах-миксерах САКМ — проволочные нихромовые. Эти печи работают на токе частотой 50 Гц, обеспечивая температуру 750—800 °С; расход электроэнергии 0,60—0,65 кВт·ч/кг.

В отражательных печах сопротивления нагрев шихтовых материалов и ванны расплавленного металла осуществляется нагревательными элементами, расположенными у свода печей. Шихту загружают через окна в стенах печей. После готовности ме-

1. Технические характеристики тигельных электропечей сопротивления для плавки и раздачи алюминиевых сплавов

Параметр	Модель печи						
	САТ-0,04	САТ-0,06	САТ-0,16-И2	САТ-0,16-И3	САТ-0,25-К1	САТ-0,25-И2	САТ-0,25-И3
Установленная мощность, кВт	15	17	35	36,3	50	45	44
Вместимость тигля (по алюминию), т	0,04	0,06	0,16		0,25		
Производительность по расплавлению и перегреву, кг/ч	12—15		48		60		
Масса электропечи, т	1,0		1,3	0,9	1,65	1,48	1,0
Габаритные размеры (ширина × длина × высота), мм	1202×1850×1105		1320×1930×1250	1100×1300×1300	1420×2028×1293		1200×1400×1300

Примечание. В условном обозначении печей: С — нагрев сопротивлением; *А* — для получения алюминия; Т — тигельная; число — вместимость тигля по алюминию, т; буква с числом — номер исполнения.

2. Технические характеристики плавильно-раздаточных электропечей сопротивления (наклоняющиеся)

Параметр	Модель печи	
	САТ-0,16Н-Х1	САТ-0,25Н-Х1
Установленная мощность, кВт	46,1	81
Вместимость тигля (по алюминию), т	0,16	0,25
Производительность по расплавлению и перегреву, кг/ч	76	
Масса электропечи, т	2,95	3,20
Габаритные размеры (ширина × длина × высота), мм	2400×1800×1450	2400×1800×1650

3. Технические характеристики камерных электропечей сопротивления и электропечей-миксеров для поддержания температуры алюминия и его сплавов перед раздачей их по литейным машинам

Параметр	Модель печи			
	САК-0,1-И1	4САК-0,7	САКМ-3В-И1	САКМ-16
Установленная мощность, кВт	20	50	203	240
Вместимость камеры (по алюминию), т	0,1	0,7	3	16
Масса электропечи, т	1,55	4,2	—	74
Габаритные размеры (ширина × длина × высота), мм	1570× ×2250× ×1700 (+400)	1622× ×2770× ×1895	5720× ×13990× ×7000	4830× ×7570× ×3700

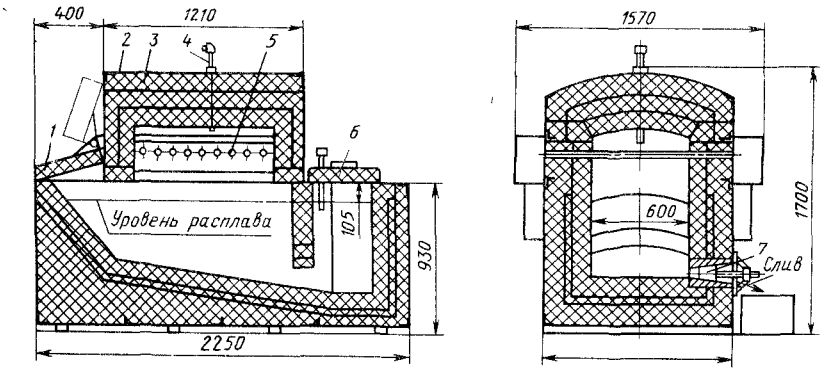


Рис 8 Камерная раздаточная электропечь типа САК-0,1-И1:
1 — крышка заливочного отверстия; *2* — кожух; *3* — футеровка; *4* — термопара; *5* — нагреватели; *6* — раздаточное отверстие; *7* — летка аварийного слива металла

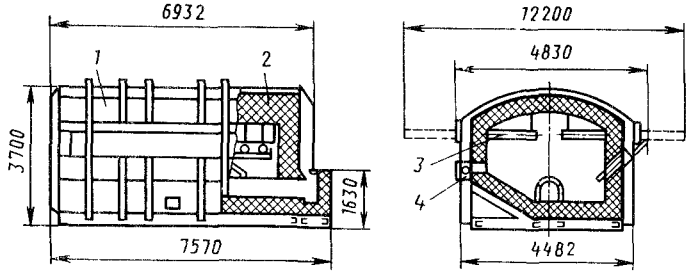


Рис. 9. Электропечь-миксер типа САКМ-16:
1 — каркас; *2* — футеровка; *3* — радиационные электронагреватели; *4* — дверца

талл сливают, наклоняя печь.

В электропечи САК-0,1-И1 (рис. 8) температура расплава поддерживается карбидно-кремниевыми электронагревателями. Заливку расплава в заливочное отверстие камеры выполняют с помощью цехового транспорта (крышка должна быть снята); раздачу расплава в машины литья под давлением — с помощью манипулятора или раздаточной ложки через разгрузочное отверстие при снятой крышке.

Электропечь работает в ручном или автоматическом режимах.

Электропечь-миксер САКМ предназначена для поддержания температуры расплавленного алюминия, рафинирования, отстаивания и раздачи его по литейным машинам (рис. 9).

Камерная электропечь имеет заливочный и переливной карманы, раздаточные летки и летку полного слива. Для удаления шлака, рафинирования и чистки ванны имеются два окна, закрытых дверцами.

Из плавильной печи жидкий алюминий через заливочный карман подается в электропечь. После окончания заливки карман закрывают крышкой. Шлак с поверхности расплава удаляют скребками через окна. Расплавленный алюминий поступает в литейную машину через раздаточные летки.

Электропечи сопротивления (вакуумные миксеры — САКМ-3В-И1; САКМ-2,0В-И1) предназначены для дегазации алюминиевых сплавов. В рабочем пространстве создается вакуум: остаточное давление 1333—133 Па. Электропечь состоит из кожуха, нагревательной камеры, систем вакуумной и водоохлаждения, нагревателей.

В барабанных электропечах температура нагрева достигает 1200—1250 °С. Печи предназначены для приготовления и выдерживания медных сплавов, а также эти печи могут быть использованы как миксеры. Для выравнивания температуры и химического состава сплава и облегчения выдачи сплава при разливке предусматривают поворот барабанных электропечей на 15—80°.

Барабанные печи удобны для получения различных сплавов, так как в процессе плавки можно ввести легирующие элементы с более низкой температурой плавления и без заметного угара (до 3%), чем, например, в дуговых электропечах.

Индукционные печи. Преимущества индукционных печей:

электрическая энергия передается непосредственно в нагреваемый металл, что значительно увеличивает скорость нагрева по сравнению с печами косвенного действия, в которых нагревается только поверхность материала;

достигаемая температура металла лимитируется только огнеупорностью футеровки печи;

упрощается конструкция печей;

возникающие в расплаве электродинамические усилия вызывают циркуляцию металла в тигле, что ускоряет процесс плавки и способствует получению металла со стабильными свойствами;

высокая производительность труда, хорошие санитарно-гигиенические и экологические условия производства.

По принципу действия индукционные печи подразделяют на две группы: печи с замкнутым магнитопроводом (канальные печи с открытым и закрытым каналом, в которых роль вторичной катушки играет коротко замкнутый канал, заполненный жидким металлом) и без замкнутого магнитопровода (тигельные печи — открытые и вакуумные). При прохождении тока через индуктор печи (первичная катушка) в заполненном жидким металлом канале индуцируется электрический ток, который разогревает металл в канале.

Индукционные плавильные канальные печи для плавки цветных металлов и сплавов работают на частоте 50 Гц; тигельные — на частоте 50—1000 Гц. Такие печи применяют для плавки цинка, алюминия, меди и сплавов на их основе.

Индукционные канальные миксеры используют для накопления, выдержки и поддержания постоянных температурных условий при разливке, рафинировании, легировании и модифицировании сплавов.

В индукционных тигельных печах получают магний, алюминий, медь и сплавы на их основе, латуни.

Для непрерывной работы целесооб-

4. Технические характеристики индукционных канальных печей ИАК для плавки алюминия и его сплавов

Параметр	Модель печи					
	ИАК-0,4/0,2-И1	ИАК-1,0/0,4-И1	ИАК-1,0/0,4-И2	ИАК-2,5/0,8-И1	ИАК-6С2	ИАК-16М1
Установленная мощность, кВ·А	400	720	630	1260	1000	2500
Номинальная вместимость, т	0,4	1,0	1,0	2,5	6,0	16,0
Производительность (расчетная) по расплавлению и перегреву металла до 750 °С, т/ч	0,575	1,8	1,3	2,1	2,5	4,0

разно использовать канальные печи, а для периодической работы и при изменении химического состава сплава — тигельные печи.

Индукционные канальные печи. В соответствии с ГОСТ 10487—75 индукционные канальные печи (ИКП) используют для плавки: алюминия и его сплавов (печи ИАК); меди и ее сплавов — латуней (ИЛК), цинка и его сплавов (ИЦК). Печи ИЦК применяют, как правило, для плавки катодного цинка.

Для повышения стойкости футеровки при эксплуатации ИКП не рекомендуется использовать загрязненные шихтовые материалы, стружку, сплавы на медной основе, в состав которых входят свинец и олово. При перерывах в работе печи в канале должен быть остаток металла для создания замкнутой вторичной цепи.

ИКП по сравнению с индукционными тигельными печами (ИТП) характеризуются более высоким КПД (на 25—30 %), в 3—4 раза повышенным значением cos φ. ИКП занимают меньше места и дешевле тигельных.

Технические характеристики индукционных канальных печей ИАК и ИЛК приведены в табл. 4 и 5.

Индукционные тигельные печи для плавки цветных сплавов на основе алюминия, магния, меди, цинка и никеля независимо от химического состава выплавляемого сплава имеют одинаковые конструкционные узлы и отличаются, в основном, производительностью и мощностью электрооборудования. Отечественная промышленность выпускает индукционные тигельные печи промышленной и повышенной частоты. Характеристики тигельных печей приведены в табл. 6 и 7.

Электропечи работают по принципу трансформатора, у которого первичной обмоткой является водоохлаждаемый индуктор, а вторичной обмоткой и одновременно нагрузкой — находящийся в тигле металл. Электропечь, снабженную комплектом оборудования, необходимым для ее работы, называют индукционной установкой или комплексом.

Индуктор печи представляет собой многовитковую водоохлаждаемую катушку, выполненную из прямоугольной медной трубки.

Для защиты металлоконструкций от полей рассеяния снаружи индуктора предусматривают магнитопроводы, набранные из листов трансформаторной стали.

На всех печах и особенно на печах

5. Технические характеристики индукционных канальных печей ИЛК для плавки латуней, меди и ее сплавов

Параметр	Модель печи						
	ИЛК-0,4С1	ИЛК-0,4/0,16-И1	ИЛК-1С2	ИЛК-1/0,4-И1	ИЛК-1,0/0,36-И1	ИЛК-1,6С2	ИЛК-1,6/0,96-И1
Установленная мощность, кВ·А	100	180	400	630	—	1000	1000
Полезная вместимость, т	0,4		1	1,0		1,6	
Производительность (для латуни) по расплавлению и перегреву металла, т/ч	0,336	0,71	1,3	1,3	1,78	4,15	4,6

вместимостью, большей одной тонны, для уменьшения потерь теплоты излучением во время плавки тигель закрывают футерованной крышкой.

Тигли для плавки алюминиевых сплавов изготовляют набивкой и спеканием шамотно-кварцитовой массы (основа Al_2O_3 и SiO_2) или из жаростойкого бетона (тонкомолотый магнезит, шамотный заполнитель и жидкое стекло).

Для плавки магниевых сплавов применяют печи со стальными сварными или литыми тиглями и крышками специальной конструкции. В печи с такой крышкой можно вести плавку в нейтральной защитной среде.

Печи для плавки медных сплавов футеруют высокоглиноземистой или кварцитовой массой.

Замену тиглей проводят при износе стенок в любом месте на 30 % во избе-

6. Технические характеристики индукционных тигельных печей ИАТ для плавки алюминия и его сплавов

Параметр	*Модель печи*								
	ИАТ-0,4/0,18-С3	ИАТ-0,4/0,25-И1	ИАТ-0,4/0,8-М4	ИАТ-1/0,4-М3	ИАТ-2,5-М1	ИАТ-2,5/1,0-И1	ИАТ-2,5/1,6-М3	ИАТ-6-М2	ИАТ-6/2,5-И1
Установленная мощность, кВ·А, не более	180	280	1000	400	1000	970	1850	1600	2500
Вместимость тигля, т	0,4	0,4	0,4	1	2,5	2,5	2,5	6,0	6,0
Производительность по расплавлению и перегреву, т/ч	0,29	0,45	0,9	0,67	1—3	1,84	2,5	2,0	4,83

7. Технические характеристики индукционных тигельных печей для плавки латуней, меди и ее сплавов

Параметр	Модель печи				
	ИЛТ-0,4	ИЛТ-1/0,4-М2	ИЛТ-2,5/1-С2	ИЛТ-10/1,6-М1	ИЛТ-25/4,0-И1
Мощность:					
установленная, кВ·А	100	400	1000	1600	4000
потребляемая, кВт	85	385	896	1260	3500
Номинальная вместимость, т	0,56	1	2,5	10	25
Производительность по расплавлению и перегреву, т/ч	0,3	1	2,6	3,32	10,5—11,7

жание выхода из строя индуктора и выброса металла из печи, для чего в печах предусматривают сигнализаторы состояния футеровки тигля. Состояние футеровки тигля контролируют визуально.

Стойкость тигля зависит от способа загрузки, периодичности чистки и проведения мелкого ремонта, а также от соблюдения технологии изготовления тигля и плавки металла.

Плавка сплавов может быть осуществлена с полным сливом металла (при этом тигель испытывает частые теплосмены) и с остаточным металлом.

Для поворота печи и слива металла индукционные тигельные печи оборудуются электрическими механизмами наклона. Угол наклона до 100°; скорость наклона регулируется.

В печах ИАТ температура расплавленного металла достигает 750 °С, в печах ИЛТ — 1200—1350 °С. Из печей серии ИЛТ в литейных цехах для цветных сплавов наиболее широко используют печи ИЛТ-1/0,4-М2 и ИЛТ-2,5/1-С2.

Плавку цинковых сплавов проводят в индукционных тигельных печах промышленной частоты типа ИАТ [30], так как индукционные канальные печи ИЦК-М1 и ИЦК-40С2 применяют в цехах заготовительного производства для выплавки катодного цинка и сплавов на его основе.

Индукционные канальные электропечи-миксеры (ИЛКМ) предназначены для перегрева меди и ее сплавов (в основном латуни), реже — сплавов на основе алюминия до температуры разливки и создания постоянных температурных условий при работе с машинами непрерывного и полунепрерывного литья (табл. 8).

Электропечь-миксер является индукционной канальной однофазной электропечью и имеет одну отъемную двухканальную индукционную единицу.

Футеровку электропечи-миксера выполняют из высокоглиноземистого кирпича, фасонных огнеупоров и кварцитной засыпки. Теплоизоляционный слой футеровки выполнен из легковесного шамота.

В конструкции электропечи-миксера предусмотрена возможность применения защитного газа. Управление и контроль за работой электропечи-миксера осуществляют с пульта и щитов управления.

Раздаточные миксеры и установки для электромагнитной дозировки цветных сплавов. В раздаточных миксерах типа ИАКР осуществляют перегрев жидких алюминиевых сплавов, под-

8. Технические характеристики индукционных канальных электропечей-миксеров

Параметр	Модель электропечи-миксера				
	ИЛКМ-2,5-С3	ИЛКМ-6-С5	ИЛКМ-6-6М	ИЛКМ-6/0,63-И7	ИАКМ-40/0,6-И1
Потребляемая мощность, кВт	262	231	337	353	
Вместимость, т:					
полезная	2,5		6		40
номинальная	4,3	8	9	9	50
Температура перегрева металла, °С			1200		750
Производительность по перегреву на 100 °С, т/ч	11,8	9,8	17	8,5	14

держание стабильной их температуры и заливку сплавов непосредственно в формы или литейные машины с помощью электромагнитного насоса. Управляемое электромагнитное перемешивание металла позволяет проводить рафинирование и модифицирование сплавов жидкими или порошкообразными флюсами. Для передачи расплава из ванны электропечи в форму или металлоприемник литейной машины служит футерованный металлопровод. Скорость раздачи металла 0,3—5 кг/с.

Техническая характеристика индукционной канальной раздаточной электропечи ИАКР-0,16-И1 (ЛК15.03.39—78)

Потребляемая мощность, кВт	32
Вместимость, т:	
полезная	0,16
полная	0,23
Температура металла при раздаче, °С	650—800
Производительность по перегреву на 100 °С, т/ч	0,32
Скорость раздачи расплава, кг/с	0,3—3,5
Удельный расход электроэнергии при перегреве на 100 °С (ориентировочно), кВт·ч/т	100
Время перегрева на 100 °С (ориентировочно), ч	0,5

Электромагнитные дозирующие установки обладают рядом преимуществ по сравнению с механическими и пневматическими: значительно улучшены санитарно гигиенические условия и безопасность труда литейщика, повышаются производительность труда и качество отливок, уменьшается инерционность системы раздачи металла, экономится металл.

Установки представляют собой (рис. 10) плавильную печь с электромагнитным насосом и пультом управления. Сменные узлы установки — тигель, канал и металлопровод — изготовляют из материалов, обладающих высокой коррозионно-эрозионной стойкостью по отношению к цветным сплавам. В качестве футеровочного материала тигля применяют любые огнеупорные смеси, пригодные для плавильных и раздаточных печей.

Технические характеристики электромагнитных дозирующих установок для разливки сплавов на основе свинца и олова приведены в табл. 9 (ТУ 2-043-1125—85); на основе алюминия и цинка — в табл. 10. Для разливки медных сплавов используют

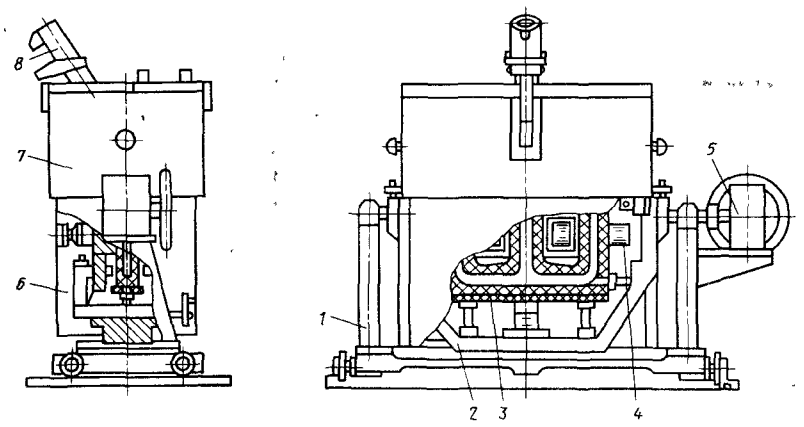


Рис. 10. Дозатор МДН-6:
1 — станина; *2* — поворотная рама; *3* — канал; *4* — индуктор; *5* — червячный редуктор; *6* — электромагнит; *7* — тигель; *8* — металлопровод

раздаточную печь ИАКР-16М-04.

Техническая характеристика электромагнитной дозирующей установки МДН-16М-04 для разливки медных сплавов

Вместимость ванны (по жидкой латуни), кг	400
Потребляемая мощность, кВт:	
при плавке	80
при выдержке металла	22
при заливке	82
Расход электроэнергии на 1 т отливок, кВт·ч	320
Напряжение, В	320/220
Частота, Гц	50
Массовая подача, кг/с	0,3—5
Производительность при плавке, кг/ч	250
Погрешность дозирования, %, не более	5
Габаритные размеры установки, мм	1400×1150×1600
Масса, кг	1600

Индукционные вакуумные плавильные электропечи. Соответствующий ГОСТ устанавливает следующие типы и номинальные вместимости (т) электропечей: ИМВ (для плавки меди и ее сплавов) — 0,0025; 0,004; 0,01; 0,016; 0,025; 0,04; ИАВ (для плавки алюминия и его сплавов) — 0,06; 0,16; 0,25; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 6.

Частота применяемого тока должна соответствовать ГОСТ 6697—83.

В ГОСТ 16348—80 приведены общие технологические требования к индукционным плавильным вакуумным электропечам.

По способу нагрева печи подразделяют: по воздействию на металл — на печи прямого и косвенного, по характеру работы — на периодического и полунепрерывного действия.

В индукционных вакуумных печах прямого нагрева токи индуктируются непосредственно в шихтовых материалах, а в печах косвенного нагрева — во вспомогательном нагревателе (муфеле), который устанавливают между индуктором и шихтовыми материалами.

В индукционных вакуумных печах периодического действия расплавление металла и дегазацию проводят под вакуумом; разливку — либо под вакуумом, либо в среде нейтрального газа, завалку шихты, установку и удаление изложниц (форм), зачистку и подготовку тигля — при открытой плавильной камере.

Емкость поворотных печей для плавки цветных металлов с разливкой в изложницу (форму) не превышает 100—200 кг. Печи снабжены мало-

9. Технические характеристики установок для дозирования сплавов на основе свинца и олова

Параметр	Модель установки	
	99801	МДН-6-С
Вместимость ванны (по свинцу),кг		
полезная	600	550
общая	680	—
Температура металла, °С	600	
Производительность при плавке, кг/ч	650	500
Время расплавления, ч	0,9	1,0
Погрешность дозирования, %	±3	±5
Скорость подачи металла, кг/с:		
минимальная	0,3	0,3—0,8
максимальная	3,0	(плавно регулируемая)
Установленная мощность, кВт, в том числе:		
индукторов	25	
электромагнита	10	
Потребляемая мощность, кВт:		
при плавке и разливке	15—20	
при выдержке	5	
Максимальное развиваемое электромагнитное давление, Па	$1{,}1 \cdot 10^5$	
Габаритные размеры, мм	1268×775×1105	—
Масса, кг	810	280

мощными откачными системами (остаточное давление не превышает 10^{-4} Па) из-за сложности сопряжения поворотного кожуха печи с вакуумной системой.

Печи с наклоняющимся тиглем внутри неподвижного кожуха представляют собой стационарную вакуумную камеру, внутри которой вмонтирован индуктор. Вместимость печей достигает нескольких тонн.

Недостаток печей — вынужденный простой при необходимости откачки печей во время охлаждения отливок и перед началом плавки.

Печи с донным разливом металла предназначены для плавки и дальнейшего разлива металла через отверстие, расположенное в дне неподвижного тигля.

Для плавки высокореакционных, особо чистых и тугоплавких металлов и сплавов используют печи с «холодным тиглем», в которых в качестве шихты применяют отходы, порошки, губки и т. д.

В печах полунепрерывного действия *рабочий цикл происходит без нарушения* вакуума в плавильной камере. Печи полунепрерывного действия состоят из тигля, наклоняющегося внутри неподвижного кожуха, плавильной камеры, камеры для загрузки шихты и форм. Количество плавок зависит от стойкости тигля. Применяются печи для получения электродов и фасонных отливок методом точного литья по выплавляемым моделям. В печах предусмотрены устройства для ввода присадок, взятия проб металла, *пробивки «мостов», чистки тигля*, измерения температуры без нарушения вакуума в плавильной камере. Для подогрева шихты, форм или изложниц соответствующие камеры оснащены нагревателями.

В поворотных печах полунепрерывного действия металл сливают через промежуточный желоб поворотом плавильной камеры. Камеры для заливки металла сменные, что позволяет производить заливку металла в изложницы методом непрерывного литья, в стационарные формы — методом точного литья, методом центробежного литья. Недостатком индукционных вакуумных печей полунепрерывного действия

10. Технические характеристики установок для дозирования алюминиевых и цинковых сплавов

Параметр	МДН-6-016	МДН-6-025	МДН-6-04
Вместимость ванны, кг:			
общая	160	310	490
полезная	140	250	400
Заливаемая доза, кг	0,3—100	0,3—150	0,3—250
Наибольшая частота дозирования (подача металла к машинам литья под давлением), доз/ч		240	
Скорость заливки, кг/с		0,3—3,0	
Точность дозирования (%) для доз, кг.			
0,3—0,5		±5	
0,5—10		±3	
10—100		±1	
Развиваемое избыточное давление, кПа/(кгс/см²)		49(0,5)	
Габаритные размеры установки, мм	1845×600×1345	1845×720×1425	1845×820×1490
Масса, кг	3000	3300	3500

является наличие промежуточного желоба, который служит источником дополнительных загрязнений разливаемого металла.

Для уменьшения потерь активной энергии в кожухе и увеличения мощности печей принимают внутренний диаметр кожуха в 2—2,5 раза большим наружного диаметра индуктора.

Футеровка индукционных вакуумных печей должна удовлетворять следующим требованиям: обладать малой упругостью пара составляющих при рабочих температурах, минимальным газовыделением, не образовывать летучих, легко диссоциирующих соединений.

При плавке меди в вакуумных печах для набивки тиглей применяют: 99% белого электрокорунда и 1% буры; в верхний слой футеровки тигля добавляют 4% жидкого стекла.

Для получения меди высокой чистоты тигли изготовляют из малозольного графита ГМЗ-МТ.

Тигли для плавки алюминиевых сплавов изготовляют набивкой из жаростойкого бетона с массовыми долями компонентов, %: тонкостенного магнезита 28,8; шамотной крошки фракции 0,15- 0,5 мм 25,0; шамотной крошки фракции 5—10 мм 30,0; кремнефтористого натрия 1,2; жидкого стекла плотностью 1,36—1,38 г/см³ 15,0. Обжигают бетон при 800—900 °С.

Тигли для плавки сплавов на никелевой основе изготовляют из смеси, содержащей, % (мас доля): магнезитового порошка 60—70; электрокорунда или глинозема 30—40; диоксида циркония 5 и оксида титана 2. Смесь плавят в дуговых печах, после охлаждения размалывают и разделяют на фракции с размером зерен 1—5 мм и менее 1 мм, затем смешивают в пропорции 50 : 50 и вводят, % (мас. доля): борной кислоты 0,7—1,2; воды 3—4. Для набивки верхнего слоя тигля в массу добавляют жидкое стекло; прокалку проводят при 1400 °С.

Для плавки цветных сплавов широко применяют вставные графитовые тигли; тугоплавких — керамические вместимостью до 150 кг. Зазор между тиглем и индуктором заполняют теплоизоляционным порошком, уплотняемым грамбовкой.

Применение готовых тиглей сокращает ремонтные простои, однако

11. Технические характеристики индукционных вакуумных электропечей

Параметр	Модель электропечи				
	ИСВ-0,01-ПИМ2	ИСВ-0,04-ПФМ1	ИСВ-0,06-ПИМ3	ИСВ-0,16-ПИМ3	ИСВ-1-НИМ02
Вместимость тигля, т	0,01	0,04	0,06	0,16	1,0
Мощность генератора, кВт	50	100	50	100	1000
Рабочая частота тока, Гц	2400				1000
Максимальная температура расплава, °С	1700	1650	1800		
Остаточное давление, Па	10^{-1}	5×10^{-1}			10^{-1}
Габаритные размеры печи (длина × ширина × высота), м	6,2×4,0×5,2	6,3×4,6×4,0	7,1×4,9×4,1		7,5×13,8×12,2
Масса печи, т	7,5	8,5	7,0	7,5	162,0

эти тигли недостаточно прочны.

В табл. 11 приведены технические характеристики некоторых печей, применяемых для плавки сплавов на основе железа, но которые можно использовать и при производстве отливок из цветных сплавов.

Дуговые печи. По способу нагрева различают следующие дуговые электропечи: прямого нагрева, косвенного, смешанного, плазменного и оптического.

В печах прямого нагрева - дуга горит между электродом и нагреваемым телом; в печах косвенного нагрева — между электродами (тепло к нагреваемому телу передается излучением от дуги и футеровки, нагреваемой дугой).

В печах смешанного нагрева дуга горит между электродом и нагреваемым телом, но значительное количество тепловой энергии выделяется в нагреваемом теле с большим электрическим сопротивлением.

При плазменном нагреве основное количество теплоты выделяется в столбе плазменной дуги.

Особым видом нагрева является оптический дуговой нагрев, когда теплота от дуги, горящей между электродами, передается к нагреваемому веществу с помощью оптических систем.

При производстве отливок из цветных металлов и сплавов дуговые электропечи применяют для плавки и выдержки (в качестве миксеров) металла.

Дуговые однофазные печи ДМК (табл. 12) косвенного нагрева применяют для плавки меди и ее сплавов (бронз, латуней). Расплавление и перегрев металла в печах проводят независимой дугой, питающейся однофазным трансформатором, переменным током от специального трансформатора.

12. Технические характеристики электродуговых печей ДМК

Параметр	ДМК-0,1	ДМК-0,25	ДМК-0,5	ДМК-1,0
Вместимость тигля, кг	100	250	500	1000
Мощность, кВ·А	125	175	250	400
Производительность, кг/ч	125	250	450	700

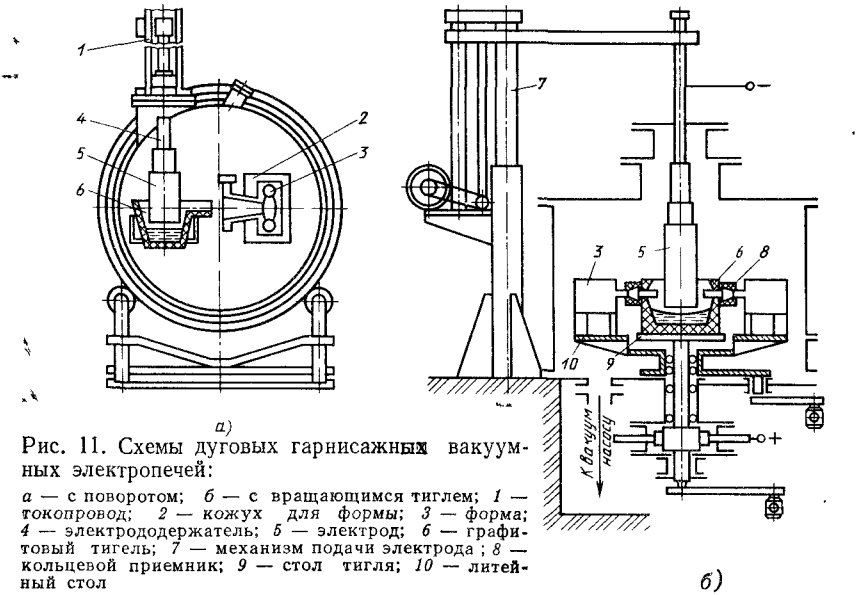


Рис. 11. Схемы дуговых гарнисажных вакуумных электропечей:

а — с поворотом; *б* — с вращающимся тиглем; *1* — токопровод; *2* — кожух для формы; *3* — форма; *4* — электрододержатель; *5* — электрод; *6* — графитовый тигель; *7* — механизм подачи электрода; *8* — кольцевой приемник; *9* — стол тигля; *10* — литейный стол

Продолжительность расплавления 30—60 мин; угар металла 6—7 %.

Печь состоит из стального цилиндрического кожуха, футерованного шамотным кирпичом. В торцовых стенках имеются отверстия для ввода графитовых электродов, между которыми зажигается дуга. Для перемешивания металла и выравнивания температуры печь в процессе плавки непрерывно покачивается.

Вакуумные дуговые печи (ВДП) применяются для получения слитков и фасонных отливок из тугоплавких высокоактивных металлов (вольфрама, титана, циркония, ниобия, молибдена, тантала и др.) или сплавов на их основе. Печи подразделяют на две группы — для плавки в кристаллизаторе и в гарнисаже.

В конструкции ВДП с охлаждаемым кристаллизатором предусмотрено удаление газов, летучих вредных примесей, неметаллических включений, а также получение закристаллизовавшегося слитка с мелкозернистой структурой.

В гарнисажных печах металл рафинируется в таких же условиях, как и при плавке в кристаллизаторе.

Вакуумная дуговая печь (рис. 11) состоит из кристаллизатора (медной водоохлаждаемой изложницы) с поддоном, вакуумной камеры, внутрь которой через вакуумное уплотнение введен водоохлаждаемый электрододержатель с расходуемым электродом, и источника питания постоянного тока.

В вакуумных дуговых печах для плавки в гарнисаже (ДТВГ) плавление металла осуществляется не в кристаллизаторе, а в графитовом или металлическом (медном или из коррозионностойкой стали) охлаждаемом тигле, на внутренней поверхности которого наморожен слой переплавляемого металла (гарнисаж).

Гарнисажный тигель является основной частью электродуговой гарнисажной печи. От его конструкции, материала, размеров зависят масса и температура жидкого металла, его химический состав, технико-экономическая эффективность и безопасность работы печи.

Наличие гарнисажа позволяет предотвратить загрязнение расплава материалом тигля (графитом или медью). Расходуемым электродом служит слиток сплава первичного переплава. Новый электрод приваривают к «огарку» электрической дугой пониженной мощ

ности на этапе плавления с последующим охлаждением места приварки в вакууме. Плавку начинают с установки тигля и электрода в печи. Затем печь герметизируют и вакуумируют до остаточного давления 1,33 Па. Наплавляется необходимый объем металла, перегревается и производится разливка. Средняя стойкость графитовых тиглей 30—40 плавок.

Вакуумные дуговые электропечи для плавки в гарнисаже входят в состав плавильно-заливочных установок, содержащих: вакуумную дуговую гарнисажную электропечь, камеру формирования отливок, механизм загрузки и выгрузки форм, вакуумную систему, источник питания.

Плавильно-заливочные установки подразделяют на две группы: с разливкой металла при горящей дуге; с разливкой металла при отключенной дуге. В печах первой группы не происходит охлаждение ванны при сливе металла из тигля, что сохраняет жидкотекучесть сплава и способствует лучшему заполнению литейной формы; в печах второй группы в период подъема электрода температура металла в тигле несколько снижается, что является недостатком этих печей.

Промышленные плавильно-заливочные установки выпускаются следующих моделей: 833Д; Нева-2; ВДЛ-4; ДВЛ-160М; ДТВГ (ОКБ) (табл. 13); ДВЛ-250; ДХВГ-0,25-ПЦ; ДРВ-0,3Г и др. Технические характеристики дуговых электропечей, применяемых для плавки тугоплавких металлов, приведены в табл. 14.

Плазменные печи. Плазменно-дуговые и плазменно-индукционные печи применяют для получения слитков и отливок из медных, никелевых, титановых и других тугоплавких сплавов.

В плазменно-дуговых печах низкотемпературная плазма является независимым источником тепла, что позволяет проводить плавку некомпактной шихты.

Техническая характеристика плазменно-дуговой печи УП-100 (двухручьевой плавильный агрегат)

Размеры выплавляемых слитков, мм:	
диаметр	270, 300
длина	2500
Число:	
одновременно выплавляемых слитков	2
плазмотронов	6
источников питания плазмотронов	2
Род тока, питающего плазмотроны	Переменный
Производительность печи, кг/ч	500
Габаритные размеры печи (длина × ширина × высота над уровнем пола), мм	15 100×7 385×9 320
Общая высота печи, мм	12 300

Плазменно-индукционные печи дополнительно оборудуют плазменной приставкой.

Электронно-лучевые печи плавильные и литейные печи (ЭЛП) используют для получения слитков и отливок высококачественных тугоплавких и активных металлов. В качестве исходной шихты применяют заготовки, скрап, гранулы, стружку. В ЭЛП (рис. 12) выполняют рафинирование жидкого металла, выплавленного в другом плавильном агрегате. Благодаря открытой ванне и высокому перегреву металла в печи можно проводить дегазацию металла. Наличие высоких температур и вакуума способствует очистке металла за счет термической диссоциации оксидов и других соединений.

При электронно-лучевом нагреве обеспечивается: низкое давление (13,2—1,3 МПа) в камере печи, широкий диапазон регулирования мощности и ее поверхностной плотности (10^2—10^9 Вт/см^2), неограниченное время выдержки металла в жидком состоянии, а также значительный перегрев.

Наиболее широко применяют две конструктивные схемы ЭЛП — с подачей переплавленного металла сверху и сбоку. При вертикальной подаче переплавляемой заготовки применяют несколько электронных пушек, расположенных вокруг заготовки; при горизонтальной подаче — меньшее число пушек (или только одну).

13. Технические характеристики установок ДТВГ (ОКБ)

Параметр	Модель установки		
	ДТВГ-0,06ПЦ (ОКБ-956)	ДТВГ-0,16ПФ (ОКБ-935)	ДТВГ-0,6ПЦ
Вместимость плавильной ванны, кг	60	160	600
Диаметр тигля (без гарнисажа), мм	442	444	880
Глубина тигля (без гарнисажа), мм	395	470	950
Наибольшие размеры формы, мм:			
диаметр	800		1800
высота	500		1600
Скорость плавления, кг/мин	6—8	6—8	15—20
Длительность цикла, ч	2—2,5	5,5	7
Габаритные размеры печи (высота × ширина × длина), мм	5720×3250××7800	5845×5775××10 000	5800×7600××8600

14. Технические характеристики электродуговых установок для плавки тугоплавких сплавов

Параметр	Модель установки					
	ДВВ-125	ДВП-500	ЦЭП-368	ЦЭП-374	ЦЭП-317А	ВД-80
Мощность, кВт	270	260	110		300	
Диаметр кристаллизатора, мм	80; 100; 110; 125				110; 140; 150; 180	80; 100; 115
Сила рабочего тока *, А	4500/6000	3500/1000	5500/—		10 000/12 000	6000/—
Высота кристаллизатора, мм	750		1000			2500
Скорость плавления, кг/мин	0,3—0,6		0,3—0,5		1,0—30,0	0,3—0,5
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/кг	0,8—2,0			1—2		
Расход охлаждающей воды, м³/ч	8—10	8	12		15	12
Высота печи, м	4,1		8		9,15	8
Масса печи, т	1,5		2,5	3,0	3,7	3

* В числителе приведены данные при работе на постоянном токе, в знаменателе — на переменном.

Примечание. Электродуговые установки работают при напряжении 60 В.

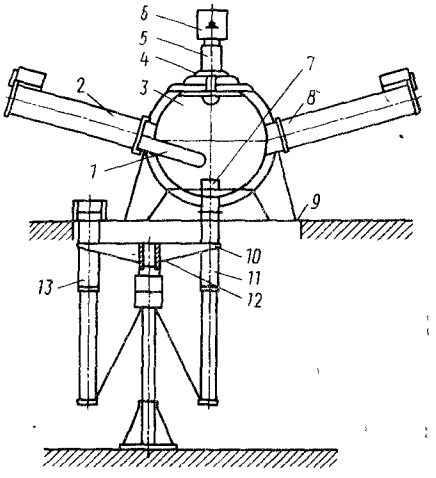


Рис. 12. Электронно-лучевая установка для переплава титановых отходов:

1 — переплавляемая заготовка; *2* и *8* — шлюзовые устройства для заготовок; *3* — плавильная камера; *4* — система развертки электронного пучка; *5* — электронная пушка; *6* — высоковольтный ввод; *7* — кристаллизатор; *9* — площадка обслуживания; *10* — устройство для вытягивания слитка; *11* и *13* — стаканы для слитков; *12* — поворотное подъемное устройство

Характеристики ЭЛП, применяемых для выплавки металлов и сплавов на основе ниобия, тантала, циркония, молибдена, вольфрама, титана, меди и никеля, приведены в табл. 15 и 16.

Для переплавки мелкокусковой шихты в печи предусматривают специальные подающие устройства типа вращающейся трубы, которые позволяют догружать шихту во время процесса плавки без нарушения вакуума.

Вакуумная система ЭЛП обеспечивает остаточное давление в рабочем пространстве 10^{-2}—10^{-3} Па.

Процессом плавки управляют либо с площадки обслуживания, либо дистанционно с использованием телевизионной связи.

Электрошлаковые печи. При электрошлаковом литье (ЭШЛ) переплавляемого электрода в фасонном водоохлаждаемом кристаллизаторе жидкий металл с торца оплавляемого электрода, погруженного в шлаковую ванну, передается в виде капель в литейную форму, которая является местом для приготовления расплава и формирования отливки (рис. 13). При ЭШЛ исключаются взаимодействия металла с материалом формы и газовой средой. В шлаковой ванне из металла удаляются кислород, водород и неметаллические включения. Вокруг кристаллизующейся отливки создается тонкая пленка гарнисажа. При этом виде литья нет надобности в плавильной и раздаточной печах, разливочном ковше, формовочных смесях. Условия кристаллизации металла позволяют получать отливку с тонкой структурой, без пор и усадочной раковины.

15. Технические параметры электронно-лучевых плавильных установок с одной электронной пушкой

Параметр	ПЭЛ-300	ПЭЛ-1000	ЕМО-200
Мощность электронной пушки, кВт	300	1000	200
Размеры выплавляемых слитков, мм:			
диаметр	60—270	100—500	70—230
длина	150	3000	1500
прямоугольного сечения	70×20	80×250	—
Максимальный размер переплавляемых электродов, мм:			
диаметр	250	380	150
длина	2500	3000	2200
Габаритные размеры печи (ширина × × длина × высота), м	7×10×6	13×17×9	13×16×9

16. Технические характеристики электронно-лучевых плавильных электропечей с плосколучевыми пушками

Параметр	Модель электропечи			
	У-143	У-270М	У-254	У-455
Мощность электронного нагрева, кВт	120		500	150
Количество пушек, шт.	4		6	
Ускоряющее напряжение, кВ	13—15		14—17	
Наибольшие размеры получаемого слитка, мм:				
диаметр	150	200	380	200
длина	500	1000	1 350	400
Наибольшие размеры переплавляемых заготовок, мм:				
диаметр	140	185	380	180
длина	670	1350	2 400	500
Скорость откачки из плавильной камеры, л/с	4000		30 000	40 000
Габаритные размеры установки без источника питания:				
площадь, м^2	5	6,2	81	16
высота, м	3,5	6,5	9,5	4,5

ЭШЛ применяют для получения полых слитков, корпусов арматуры, сосудов высокого давления, а также для получения отливок электрошлаковым центробежным литьем (ЦЭШЛ) и электрошлаковым литьем в кокиль (ЭКЛ).

Сущность ЦЭШЛ заключается в получении и накоплении металла в тигельной печи с последующим переливом металла во вращающуюся литейную форму. При этом способе литья (довольно простом) получают качественные отливки.

Для изготовления электродов используют изношенные детали и конструкции, листовую или кузнечную обрезь. Можно переплавлять также отходы в виде различных кусков, применяя нерасходуемые электроды.

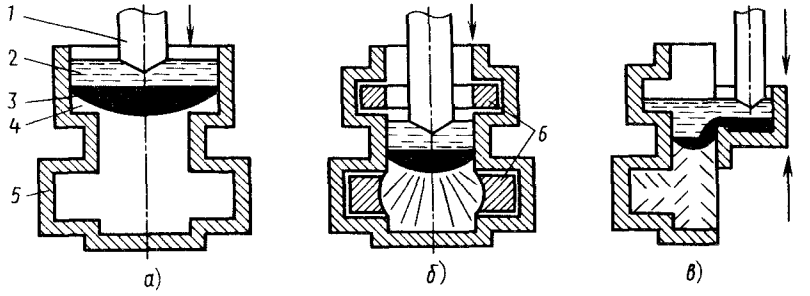


Рис. 13. Схемы ЭШЛ:

а — плавление электрода внутри формы; *б* — ЭШЛ с приплавлением; *в* — с переливом жидкого металла; *1* — расходуемый электрод; *2* — шлаковая ванна; *3* — металлическая ванна; *4* — отливка; *5* — водоохлаждаемая литейная форма (кристаллизатор); *6* — приплавляемые заготовки

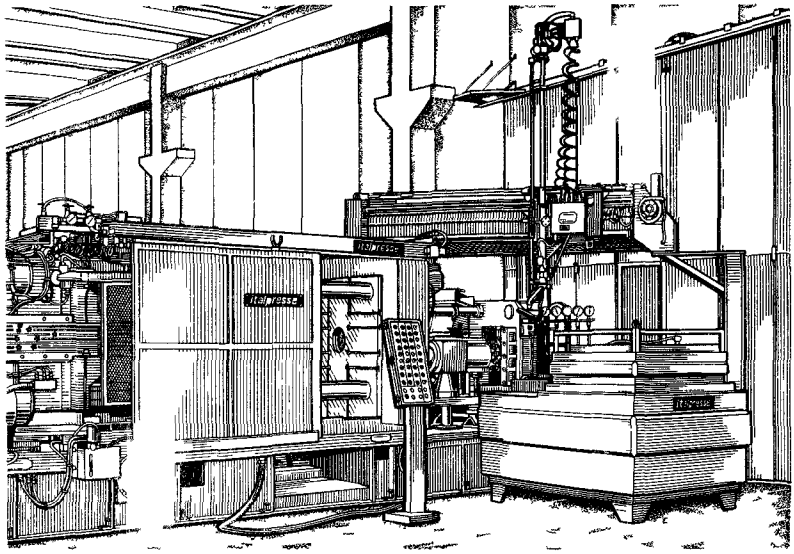


Рис 19 Машина литья под давлением IP 360 фирмы Italpresse (Италия) (холодная горизонтальная камера прессования) с раздаточной печью

клонения температуры заливки металла ±10 °С.

Дозирование жидкого металла, подаваемого в камеру прессования, осуществляют с помощью специальных дозаторов или вручную, мерным ковшом. Последние чаще всего применяют для машин с усилием запирания до 4000 кН, когда порция жидкого металла мала. Требуемая точность дозирования составляет ±2,0 % Чаще всего применяют механические ковшовые дозаторы, использующие принцип объемного отбора дозы Пневматические и магнитодинамические дозаторы имеют преимущества, обусловленные отсутствием подвижных частей и отбором дозы из рафинированных нижних слоев расплава, но их точность дозирования составляет ±3 % Характеристики наиболее часто используемых дозаторов приведены в табл. 23.

Для смазки прессс-форм используют манипуляторы, оснащенные блоками распылительных форсунок Смазочный

23. Дозаторы жидкого металла

Дозатор	Масса дозы, кг		Точность дозирования, %	Потребляемая мощность, кВт
	минимальная	максимальная		
Механический ДМ-4	0,2	6,0	±2,0	До 1,0 (с печью — до 50)
Механический А9740	4,0	18,0	±1,5	До 1,0 (с печью — до 50)
Пневматический Д630	5,0	50,0	±3	40,0
Магнитодинамический МДН-6	0,5	50,0	±3	25,0

24. Технические характеристики манипуляторов для смазывания пресс-форм

Модель манипулятора	Ход блока форсунок, мм	Диапазон регулирования исходного положения блока форсунок, мм		Число форсунок	Применяется для машин с усилием запирания, кН
		по горизонтали	по вертикали		
ЛМС 63	630	0—280	0—200	5	1 600—2 500
ЛМС 80	800	0—280	0—200	7	4 000
ЛМС 100	1000	0—300	0—280	9	6 300—10 000

25. Характеристики роботов-манипуляторов для удаления отливок

Модель робота-манипулятора	Грузоподъемность, кг	Число степеней свободы	Ход захвата, мм			Угол поворота захвата, ...°
			вдоль машины	поперек машины	вверх и вниз	
ЛМ10Ц83.01	10	3	100	500	—	100
РМ2	6,3	5	320	800	400	90
А9720	20	5	420	1250	340	100
ЛМ10Ц61.01	10	5	100	630	—	110

26. Дефекты отливок, вызванные плохим качеством сплава

Сплавы	Вид дефекта	*Причины образования* дефекта	Способ устранения
Цинковые	Низкие механические свойства, коррозия отливок	Избыток вредных примесей	Уменьшить содержание примесей до 0,2 %
Алюминиевые	Трещины	Повышенное содержание железа и магния	Уменьшить содержание железа до 0,8 %, повысить содержание кремния
	Привар	Низкое содержание железа	Повысить содержание железа до 0,8—1,0 %
Магниевые	Трещины	Высокое содержание алюминия, кремния или бериллия	Снизить содержание алюминия, кремния или бериллия
Медные		Высокое содержание цинка и кремния	Снизить содержание цинка и кремния, быстрее удалять отливку из пресс-формы

27. Дефекты отливок при литье под давлением

Дефекты	Причины образования	Меры предупреждения и устранения
Трещины	Задержка раскрытия пресс-формы, высокая температура заливки металла, высокое содержание вредных примесей (железа, цинка и олова — в алюминиевых сплавах; бериллия и цинка — в магниевых сплавах), низкая температура пресс-формы, провисание пресс-формы	Ускорить раскрытие пресс-формы Повысить темп работы Укрепить пресс-форму. Снизить содержание вредных примесей. Повысить темп работы
Узорчатая поверхность, следы потоков металла	Чрезмерно тонкий питатель Холодная пресс-форма Малая скорость прессования	Увеличить толщину питателя Повысить темп работы Повысить скорость прессования
Приваривание сплава к пресс-форме	Низкая твердость рабочей поверхности пресс-формы	Воронить, азотировать рабочую поверхность пресс-формы
Задиры на поверхности отливки	Местный перегрев пресс-формы	Изменить подвод металла в форму, повысить содержание железа в сплаве
	Плохая вентиляция формы	Увеличить число вентиляционных каналов, установить промывники
Нечеткие контуры отливки	Малое давление прессования Низкая температура пресс-формы Малое сечение питателей	Повысить давление прессования Повысить темп работы Увеличить сечение питателей
Газовые раковины и пористость	Высокая скорость прессования Излишняя смазка пресс-формы Нерациональная конструкция литниковой системы (малая толщина питателей, неудачный подвод металла к отливке)	Снизить скорость прессования Уменьшить длительность смазки Улучшить литниково-вентиляционную систему (увеличить толщину питателей, изменить место подвода металла к отливке)

Продолжение табл. 27

Дефекты	Причины образования	Меры предупреждения и устранения
Увеличенные размеры отливки. Несоответствие геометрии отливки требованиям чертежа	Отход подвижной половины формы при прессовании	Проверить усилие запирания пресс-формы. Уменьшить давление прессования
	Неправильное определение величины усадки	Уточнить выбранную величину усадки
Усадочные раковины и пористость	Нетехнологичность конструкции отливки	Обеспечить равномерную толщину стенок отливки
	Высокая температура заливки металла	Снизить температуру заливки металла

материал приготовляют в специальном агрегате и подают насосом по гибким рукавам к форсункам. Манипулятор устанавливают на верхней колонне или неподвижной плите машины литья под давлением. Для смазывания и обдува пресс-формы блок форсунок вводится в разъем пресс-формы; время смазывания и угол наклона форсунок регулируются. Технические характеристики автосмазчиков приведены в табл. 24.

Для удаления отливки из рабочей зоны машины также используют манипуляторы и промышленные роботы (табл. 25). На машинах с усилием запирания пресс-форм более 12 500 кН используют специальные съемники. Характеристики манипуляторов и роботов приведены в табл. 25.

Комплексы оборудования для литья под давлением имеют программное управление, обеспечивающее совместную работу отдельных агрегатов и устройств, возможность задания важнейших технологических параметров процесса с пульта управления, автоматическое поддержание значений заданных параметров с заданной точностью, совместимость с цеховыми системами АСУ ТП.

Дефекты отливок при литье под давлением. Причины образования дефектов при литье под давлением могут быть связаны как с качеством приготовления сплава, так и с нарушениями специфических технологических требований, присущих данному способу литья. Различают дефекты в виде несплошностей тела отливки, несоответствия геометрических размеров требованиям чертежа и дефекты поверхности отливки. В табл. 26 приведены дефекты отливок, вызванные плохим качеством сплава; в табл. 27 — специфические дефекты при литье под давлением.

4. Литье по выплавляемым моделям

Общие положения. Литье по выплавляемым моделям используют для изготовления из любых литейных сплавов отливок массой от десятков граммов до сотен килограммов с толщиной стенки 1 мм и более с шероховатостью поверхностей от $Rz = 20$ мкм до $Ra = 1{,}25$ мкм (по ГОСТ 2789—73) и точностью размеров, соответствующей 9—10-му квалитету (по ГОСТ 25347—82). Литьем по выплавляемым моделям изготовляют также сложные тонкостенные конструкции, объединяют различные детали в компактные цельнолитые узлы со сложными лабиринтными полостями, не выполнимыми другими методами, снижают трудоемкость и стоимость изготовления деталей. Вследствие химической инертности и высокой огнеупорности оболочковых форм создается возможность уп-

равлять процессом затвердевания отливок, т. е. использовать методы направленной кристаллизации.

Отливки по выплавляемым моделям изготовляют практически из всех цветных литейных сплавов: алюминиевых, магниевых, медных, цинковых на основе никеля, тугоплавких металлов и сплавов. При выборе сплава учитывают требования к материалу отливок, группируют эти требования по их значимости, исходя из назначения и условий работы деталей. Предпочтительнее использовать сплавы с меньшими объемной массой и содержанием дорогих и дефицитных компонентов. Для окончательного решения о правильности выбора сплава из него изготовляют опытные отливки и образцы и проверяют соответствие свойств требованиям, предъявляемым к детали.

Выплавляемые модели для цветных сплавов. Модельные составы классифицируют по числу компонентов, определяющих физико-механические, химические и технологические свойства (табл. 28 и 29).

Характеристики и области применения различных модельных составов следующие.

28. Классификация модельных составов

Группа составов	Примеры составов
1. Воскообразные выплавляемые	ПС, ПСЭ, ПЦБКо (Р-3), ПЦПэв (МВС-3А), ПБПсм (ИПЛ-2), ПБТТэ (ВИАМ-102)
2. На основе натуральных и синтетических смол с добавками воскообразных и других компонентов	КПсЦ, КЦПэБн (МАИ-3ш)
3. Водорастворимые	КбБк, КбНк (МОН-10К), КбПвсМс (МПвс)
4. Компактные и вспенивающиеся термопласты, удаляемые из оболочковых форм выжиганием	Полистирол блочный, полистирол суспензионный, вспенивающийся (например, ПСВ-ЛД)
5. Легкоплавкие металлы и сплавы	Ртуть, амальгамы ртути (в практике отечественного производства не применяются)
6. Смеси или сплавы составов различных групп	МВ (мочевинно-восковой состав, например, смесь расплавов карбамида и состава ПБТТэ)
7. Выплавляемые с твердыми наполнителями	РМ (смесь расплава Р-3 с порошком карбамида), смесь расплава воскообразного состава с порошком синтетической смолы

Продолжение табл. 28

Примечания: 1. В скобках указаны торговые марки составов.

2. Условные обозначения: П — парафин, С — стеарин, Ц — церезин, Б — буроугольный воск, Т — торфяной воск, Пс — полистирол (компактный), ПсВ — полистирол вспенивающийся, Пэ — полиэтилен, Пэв — полиэтиленовый воск (низкомолекулярный полиэтилен), К — канифоль, Кб — карбамид, Нк — нитрат калия, Нн — нитрат натрия, Нин — нитрат натрия, Ко — кубовый остаток горячего крекинга парафина, Псм — пластичная смазка, Св — сибирский воск, Мс — сернокислый магний, Пвс — поливиниловый спирт, Бн — нефтяной битум, Бк — борная кислота, Тэ — триэтаноламин, Э — этилцеллюлоза.

29. Модельные составы и их свойства

Марка состава	Содержание компонентов, % (мас. доля)	Предел прочности при изгибе, МПа	Линейная усадка, %	Теплостойкость, °С	Температура плавления, °С	Содержание золы, % (мас. доля)
ПС	Парафин 50; стеарин 50	1,8—2,0	0,71—1,21	30	47,5	0,01—0,05
Р-3 (ПЦБКо)	Парафин 58—60; синтетический церезин 20—24; кубовый остаток крекинга парафина 4—6; буроугольный воск 10—14	3,1—4,0	0,54—1,04	39	77—84	0,12
ИПЛ-2	Парафин 50—70; буроугольный воск 5—35; пушечная смазка 5—25	3,8—4,2	0,6—1,5	41	78—79	0,075—0,1
ИПЛ-60 (ИПЛ-СВ)	Парафин 60; буроугольный воск 17; антистаритель «Омск-1» 23	4,0—4,5	0,7—1,5	41	75—80	0,075—0,2
МВС-15 *	Церезин 74—24; полиэтиленовый воск 7,2—5; парафин — остальное	4,5—5,2	1,25	37	79—83	0,03
МВС-3А *	Парафин 67,1; церезин 25,4; полиэтиленовый воск 7,5	7,5	0,9—1,0	43	76,9	0,02
ПБСП	Парафин 50—70; буроугольный воск 5—20; стеариновый пек 15—40	2,7	0,62—0,88	—	75	0,2
ПБПсм	Парафин 60; буроугольный воск 25; пластичная смазка 15	2,4—4,0	0,6—1,0	30	75—80	0,075—0,124
ПБТТэ	Парафин 25; буроугольный воск 35; торфяной воск 35; триэтаноламин 5	4,7—5,0	0,9—1,4	35—40	75—85	0,15—0,3
ПЦБ	Парафин 62; церезин (марок 75—80) 25; буроугольный воск 13	3,4	—	32	75—85	0,1
ПЦПэв	Парафин 67; церезин 25,5; полиэтиленовый воск (марки ПВ-300) 7,5	6,3	0,7—1,0	43	75—80	0,02
ПБЗВ	Буроугольный воск 15—30; защитный воск (марки Зв-1-3) 50; парафин — остальное	3,9	0,65	37	70	—

Продолжение табл. 29

Марка состава	Содержание компонентов, % (мас. доля)	Предел прочности при изгибе, МПа	Линейная усадка, %	Теплостойкость, °С	Температура плавления, °С	Содержание золы, % (мас. доля)
ПБОЭ	Окисленный олигомер этилена 16—28; парафин — остальное	4,3—7,9	0,7	38—54	73—79	—
ПЦЗВСЭПВ	Церезин 5,0—25; полиэтиленовый воск 2,0—8,0; сополимер этилена с винилацетатом 2,0—15,0; защитный воск 5,0—20,0; парафин — остальное	4,5—4,8	1,0—1,5	50—54	—	—
ПБТТэЭС	Парафин 20—25; торфяной воск 15—30; триэтаноламин 2—5; эпоксидная неотвержденная смола 2,5; буроугольный воск — остальное	4,6	0,85	—	83	0,25
ПЦБКоМК	Парафин 28—30; торфяной воск 5—7; синтетический церезин 10—12; кубовый остаток крекинга парафина 2—3; мочевина 45—50; канифоль 4—5	6,0	0,5	38	60	—
В-1 (ВИАМ-102, ПБТТэ)	Парафин 25—35; буроугольный воск 45—35; торфяной воск 45—35; триэтаноламин 5	5,0—5,6	0,9—1,0	30	90—100	0,25—0,3
В-2	Парафин 24—26; буроугольный воск 34—37; торфяной воск 35—38; триэтаноламин 3—5	6,0	1,0	26,5	97	0,28
МАИ-3щ (КЦПэБн)	Канифоль 30; церезин 18; полиэтилен 1,6; нефтяной битум 0,4	6,2	0,7	35	90—92 (каплепадение)	0,5—0,8
КПсЦ	Канифоль 50; полистирол 30; церезин 20;	7,5—8,0	0,9—1,0	40	140	0,3
КПсЦ-М	Канифоль 70—75; полистирол 5—12; церезин 18—20	7,0—7,2	0,8	—	—	0,4—0,7

Продолжение табл. 29

Марка состава	Содержание компонентов, % (мас. доля)	Предел прочности при изгибе, МПа	Линейная усадка, %	Теплостойкость, °С	Температура плавления, °С	Содержание золы, % (мас. доля)
МПВС-2 (КбПвсМс)	Карбамид 94—96,5; поливиниловый спирт 1,5—3,0; сернокислый магний 2,0—3,0	12,0—17,0	0,2—0,25	68—72	110	0,1—0,15
МОН-10К (КбНк)	Карбамид 90; калиевая селитра 10	15,0—19,0	0,09—0,4	70—78	125	0,15—0,18

* Централизовано не выпускаются.

Группа 1 — составы, используемые для изготовления моделей как из расплава, так и из паст; наиболее универсальны и широко распространены при производстве отливок из цветных металлов и сплавов от единичного до серийного производства, в том числе со сложными внутренними полостями.

Группа 2 — составы, применяемые для изготовления выплавляемых или выжигаемых моделей. От составов группы *1* эти составы отличаются более высокой прочностью и теплоустойчивостью. Недостаток модельных составов группы 2 — повышенная зольность и склонность к образованию трещин, плохая смачиваемость суспензией, высокий коэффициент расширения при нагреве. Применяют в основном в условиях мелкосерийного и опытного производства.

Группа 3 — составы на основе карбамида, азотных и азотнокислых солей щелочных металлов, гидратированных сернокислых солей, плавящихся при температуре не более 350 °С. Обладают малой усадкой, хорошо растворяются в воде. Недостатки составов — гигроскопичность, хрупкость, сравнительно высокая температура плавления (более 100 °С), значительная объемная масса (до 2100 кг/м^3), непригодность для повторного использования. Составы этой группы применяют для изготовления растворимых в воде стержней и моделей тонкостенных крупногабаритных отливок, для получения в выплавляемых моделях сложных каналов и полостей, не выполнимых в пресс-форме с помощью металлических стержней.

Группа 4 — термопласты, из которых наиболее широко применяют компактный полистирол; ограниченное применение имеет вспенивающийся полистирол для получения выжигаемых моделей в условиях массового производства мелких отливок, а также при серийном выпуске сравнительно крупных тонкостенных и переменного сечения отливок, например, лопаток турбин протяженностью до 0,5 м. Составы этой группы находятся в стадии разработки и освоения.

Группа 5 — составы, не применяемые в СССР.

Группа 6 — модельные составы, состоящие из водорастворимых (группа 3) и воскообразных (группа 1) компонентов, что позволяет улучшить такие свойства составов, как гигроскопичность, хрупкость и склонность к взаимодействию с формой из карбамидных составов. При удалении моделей в горячей воде повторно можно использовать только воскообразную часть.

Группа 7 — составы с твердыми наполнителями; основой являются составы группы 1, в которые вводятся порошки синтетических смол или тугоплавких восков; обладают малой линейной усадкой (см. табл. 29). При-

менение таких составов обеспечивает повышение точности моделей, увеличение прочности и формоустойчивости.

Изготовление моделей. Предварительное приготовление многих модельных составов заключается в поочередном или одновременном расплавлении составляющих, фильтровании расплавов и разливке их в формы-изложницы. При подготовке выплавляемых модельных составов используют до 90 % возврата, собранного при удалении моделей из оболочковых форм. Составы не следует перегревать более чем на 50—60 °С выше температуры плавления.

Составы группы 1 на основе парафина, церезина и других легкоплавких материалов приготовляют в водяных, глицериновых или масляных банях с электрическим или газовым подогревом, возможно применение термостатов.

Для приготовления пастообразных составов применяют установки (мод. 651 и 652А) с лопастными, поршневыми и шестеренными смесителями. Расплав охлаждается при одновременном непрерывном перемешивании до пастообразного состояния.

Тугоплавкие модельные составы на основе канифоли (типов КПсЦ, МАИ) приготовляют в поворотных электропечах.

Вначале расплавляют канифоль, затем при температуре 140—160 °С добавляют воскообразные компоненты, повышают температуру расплава до 200—220 °С и вводят полистирол.

Модельные составы (группа 7) с твердыми наполнителями (РМ) приготовляют в баках с глицериновой баней. Расплавляют состав Р-3 в количестве 55—56 % общей массы состава. В нагретую до 110 °С массу вводят измельченную канифоль (4—5 %). После полного расплавления канифоли расплав хорошо перемешивают. Измельченный карбамид просеивают через сито № 020, просушивают при 100—110 °С и постепенно вводят в расплав Р-3 и канифоли при непрерывном перемешивании в количестве 40 % общей массы приготавливаемого состава.

Изготовление моделей в пресс-формах состоит из подготовки пресс-форм, введения в пресс-форму модельного состава, выдержки модели до затвердевания, разборки пресс-форм, извлечения моделей и охлаждения модели до температуры производственного помещения.

Классификация пресс-форм, применяемых для изготовления выплавляемых моделей, приведена в табл. 30.

Подготовка пресс-форм заключается в очистке, смазывании рабочих поверхностей, сборке, а в ряде случаев подогреве или охлаждении. Полость пресс-формы для очистки обдувают сжатым воздухом. Оставшийся модельный состав в пресс-форме удаляют деревянными счищалками. Затем пресс-формы протирают марлевыми или ватными тампонами. В качестве смазочного материала используют чистое трансформаторное масло или касторовое масло с этиловым спиртом в соотношении 1 : 1. В условиях массового производства пресс-формы на полуавтоматических и автоматических агрегатах смазывают обдувкой их масляной эмульсией.

Оптимальная температура пресс-форм составляет 22—28 °С; перегретые пресс-формы охлаждают с помощью натурального или искусственного льда, обдувкой и водой.

Способы изготовления моделей в пресс-формах приведены в табл. 31.

Для получения штучных отливок пресс-формы можно изготовлять обработкой резанием из блоков вспененного полистирола.

Сборка моделей в блоки может быть осуществлена припаиванием моделей деталей к модели литниковой системы с помощью подогретого ножа, шпателя или паяльника ЭТ-П (ГОСТ 7219—83), имеющего наконечник в виде лезвия ножа. Стояк в этом случае закрепляют в горизонтальном положении. При сифонном подводе металла к стояку также припаивают коллекторы. Место спая необходимо зачищать, выполняя плавные переходы от питателя на модели к сопрягаемому с ним элементу литниковой системы.

Сборку в кондукторе применяют, как правило, для соединения в блок моделей деталей из плохо спаивающихся модельных составов (типа КбНк 90-10). При этом исключается припан-

30. Классификация пресс-форм для изготовления выплавляемых моделей

Классификационный признак	Группа пресс-форм	Область применения
Точность	С высокоточными (до 8-го квалитета) размерами	Турбинные лопатки, роторные колеса и другие детали высокой точности
	С точными (до 12-го квалитета) размерами	Детали общего машиностроения
	С четким воспроизведением контуров эталона	Художественное литье
Сложность	Простые	В зависимости от сложности отливок, степени механизации, числа гнезд в пресс-форме
	Средней сложности	
	Сложные	
Материал пресс-форм	Неметаллические (пластмассовые, гипсовые, цементные, резиновые, деревянные)	Единичное и мелкосерийное производство
	Металлические (свинцово-оловянные, цинковые, алюминиевые, стальные)	Серийное и массовое производство
	Комбинированные (в основном с металлическими вставками)	Мелкосерийное и серийное производство
Способ изготовления пресс-форм	Изготовляемые по мастер-модели (литьем, напылением, гальванопластикой)	При отработке процесса, специальные случаи, художественное литье, мелкосерийное производство
	Обработкой резанием алюминиевых сплавов и сталей	Массовое и серийное производство деталей машин
	Комбинированные способы изготовления	Серийное производство деталей машины
Способ заполнения модельным составом	Свободная заливка	Производство элементов литниковой системы и полых моделей
	Заливка под давлением	Изготовление полых и сплошных моделей
	Заполнение под давлением пастообразными модельными составами	Изготовление моделей и модельных звеньев

Продолжение табл. 30

Классификационный признак	Группа пресс-форм	Область применения
Способ охлаждения	На воздухе или в воде	Единичное и серийное производство
	Водой, протекающей по каналам в стенках пресс-форм	Массовое производство
Механизация	Ручные	Единичное и малосерийное производство
	Механизированные	Серийное и массовое производство
	Автоматизированные	Массовое производство
Число одновременно получаемых моделей	Одноместные (одногнездные)	Единичное и серийное производство крупногабаритных отливок
	Многоместные (многогнездные)	Массовое производство
Положение плоскости разъема	С вертикальным разъемом	Пресс-формы для автоматов
	С горизонтальным разъемом	Ручные и механизированные пресс-формы

вание вручную, обеспечивается прочное соединение моделей детали и литниковой системы.

Сборку моделей в блоки на металлический стояк-каркас осуществляют механическим скреплением звеньев, изготовленных в многоместных пресс-формах, с частью модели стояка — втулкой. Конструкции стояков-каркасов очень разнообразны. Этот способ применяют при крупносерийном и массовом производстве.

Модели, не поддающиеся припаиванию (например, из полистирола), механически скрепляют ласточкиным хвостом. На модели литниковой системы делают паз, а на модели детали — щип.

Особенности изготовления форм. Основой литья по выплавляемым моделям является неразъемная, горячая, негазотворная, газопроницаемая, жесткая, с гладкой контактной поверхностью и точная оболочковая форма.

Оболочковые формы можно подразделить на два типа: многослойные, получаемые нанесением суспензии с последующей обсыпкой и сушкой; двухслойные, получаемые электрофоретическим способом (рис. 20).

Особенность изготовления оболочковых форм заключается в сложности технологического процесса и оборудования; выборе формовочных материалов, обладающих специфическими свойствами, которые должны обеспечивать получение из любых сплавов отливок с поверхностями высокого качества; удалении модели без нарушения целостности оболочек, что обеспечивает повышенную геометрическую точность отливок; уменьшении газотворной способности оболочки прокаливанием при 800—1100 °С, способ-

31. Изготовление моделей в пресс-формах

Способ заполнения пресс-формы модельным составом	Температура состава, °С	Давление запрессовки, МПа	Область применения способа заполнения пресс-формы	Операция (по степени механизации)
Свободная заливка: парафино-стеариновых составов	70—90	0,15—0,35	Единичное и мелкосерийное производства	Ручная
композиций на основе карбамида	135—140	0,15—0,35		
Запрессовка пастообразных композиций: типа ПС, Р-3, ИПЛ-2	40—60	0,1—0,4	Опытное производство	Ручная (обычно применяют шприцы пистолетного типа различных конструкций, емкостью на несколько пресс-форм)
В-1, В-2	51—54			
МАИ-3М	83—87	—	Мелкосерийное производство	Механизированная (установки с шестеренными насосами)
КПс-Ц	175—180	—	Массовое и серийное производство	Автоматизированная карусельный автомат 653, производительностью 190—360 звеньев в час, карусельные столы
С применением вакуума и давления	175—180	10—12	Мелкосерийное и среднесерийное производство	Механизированная (рычажные, винтовые, пневматические и гидравлические прессы)
С применением давления			Мелкосерийное производство	

ствующим лучшей заполняемости металлом.

При изготовлении двухслойных оболочек электрофоретическим способом первый (облицовочный) слой получают смачиванием блока моделей суспензией окунанием с последующей обсыпкой зернистым материалом. Перед нанесением второго (форетического) слоя первый слой обязательно смачивают суспензией, содержащей электролит (проводник второго рода, например, соляную кислоту) со связующим (например, кальций-алюмохромофосфатом), и обсыпают зернистым материалом. Первый слой — токопроводящий. Второй слой осаждают на первый в электролизере из форетической грубодисперсной суспензии (см. рис. 21) и обсыпают зернистым материалом. После наращивания второго слоя оболочку сушат. Если необхо-

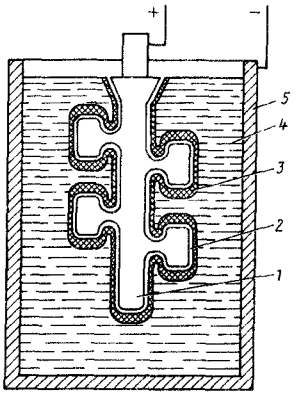


Рис. 20. Схема электрофоретического способа изготовления двухслойных оболочек:

1 — блок моделей; *2* — облицовочный и токопроводящий слой со связующим раствором; *3* — форетический слой; *4* — форетическая суспензия; *5* — водоохлаждаемый гидролизер из коррозионно-стойкой стали

дима оболочка с толщиной стенки более 6—8 мм, то после сушки первых двух слоев на блок наносят еще два слоя.

Классификация оболочковых форм (табл. 32) выполнена с учетом изменения *линейного расширения образца* оболочки при нагревании, конструкции формы и ее химических свойств. Оболочка состоит из 95—97 % (мас. доля) основы и связующего.

Формовочные материалы для получения оболочек содержат: основу, связующее, растворители, добавки. Основа может быть пылевидной (для суспензий) и зернистой (для обсыпки слоев суспензий на блоках моделей). Материалы основы являются оксидами или их соединениями (табл. 33).

В качестве связующих материалов при изготовлении оболочковых форм используют тугоплавкие неорганические окислы или соединения окислов, образующихся из связующих растворов при сушке и прокаливании оболочек. Связующие материалы имеют также кислотные, амфотерные и основные свойства (табл. 34).

Органические растворители — разбавители (РР), как правило, содержат воду, которую необходимо учитывать при расчетах состава связующих (табл. 35).

Оптимальным считается время обсыхания одного слоя формы, равное 30 с, т. е. время, в течение которого к блокам благодаря суспензии еще хорошо прилипают обсыпочные зерна.

Расчет РР проводят по формуле

$$РР = (SiO_2)_{ЭТС}/(SiO_2)_{св} - (1 + X),$$

где $(SiO_2)_{ЭТС}$ и $(SiO_2)_{св}$ — содержание SiO_2 [% (мас. доля)] соответственно в ЭТС и связующем растворе; X — количество воды, кг.

В пылевидный материал при подготовке *шликера* необходимо вводить добавки: в связующий раствор при его приготовлении; в суспензию при смешении связующего раствора с пылевидной составляющей; в обсыпочный материал; в ванны с горячей водой для выплавления моделей (табл. 36).

При изготовлении оболочек из водно-спиртовых (водных) суспензий используют также поверхностно-активные вещества (ПАВ). ПАВ улучшают смачиваемость моделей и уменьшают вязкость суспензий. Добавка 0,08—0,2 % (мас. доля) поливинилбутираля к связующим типов Орг-1 и Орг-2 повышает сендиментационную устойчивость суспензий, газопроницаемость и прочность оболочек.

Количество X воды, необходимое для получения связующего раствора из1 кг ЭТС, находят из выражения

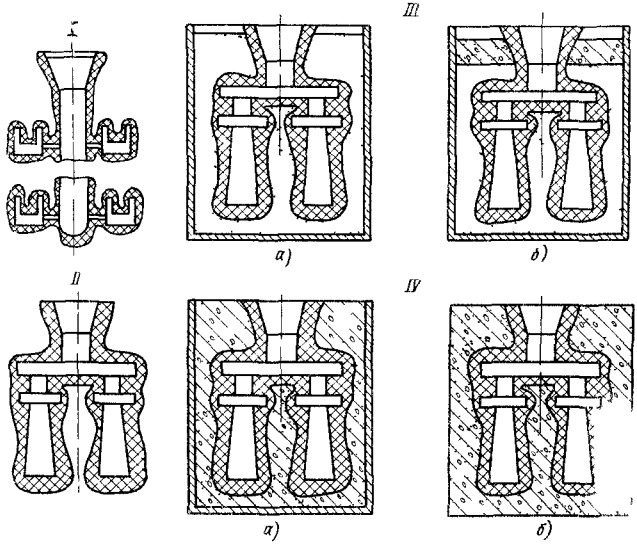
$$X = 0{,}004\,am,$$

где a — содержание этоксильных групп в ЭТС, % (мас. доля); m — количество молей воды на одну этоксильную группу.

Керамические оболочки. При изготовлении керамических оболочек приготовляют связующее и суспензию, смачивают суспензией блок модели, обсыпают их зернистым огнеупором и сушат оболочки.

Связующий раствор получают гидролизом ЭТС водой. ЭТС и вода, а также продукты гидролиза хорошо растворяются в спиртах и ацетоне. Поэтому связующие растворы являются смесью подкисленной воды со спиртом или ацетоном. В качестве катализатора применяют соляную кислоту.

32. Классификация оболочковых форм



Форма	Линейное расширение (%) при 20—1000 °С	Материал формы	Свойства окислов	Разновидность формы	Характеристики форм
Истинно оболочковая	0,04	Аморфный кварц SiO_2	Кислые	*I*	Прокаливаются любым способом с возможно большей скоростью нагрева, расплав заливают в горячие или охлажденные оболочки; трещины не образуются
Оболочковая	0,4	Электрокорунд γ Al_2O_3 Шамот высокоглиноземистый	Амфотерные	*II*	Прокаливаются 2—3 ч с постепенным нагревом, расплав заливают только в горячие оболочки, при быстром прокаливании или заливке охлажденных оболочек образуются трещины

Продолжение табл. 32

Форма	Линейное расширение (%) при 20—1000 °С	Материал формы	Свойства окислов	Разновидность формы	Характеристики форм
Оболочковая с сыпучим наполнителем	1,1	Магнезит MgO Кристаллический кварц SiO_2	Основные Кислые	*III* (*а* — без торцового наполнителя; *б* — с торцовым наполнителем)	Не выдерживают резкого изменения температуры, вследствие чего оболочки зафомовывают в сыпучий опорный наполнитель
Оболочковая с прочным наполнителем	1,4			*IV* (*а* — в опоках; *б* — без опок)	Формы с прочным наполнителем

33. Материалы основы оболочковой формы (порошка)

Материал и химическая формула	Химические свойства	Физические свойства			Удельная поверхность пылевидного материала, м²/кг
		$t_{пл}$, °С	ρ, кг/м³	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	
Окислы					
Кристаллический кварц SiO_2 *1	Кислые	1713	2650	13,7	400—600
Плавленый (аморфный) кварц НКС SiO_2 *1	»	1713	2200	0,5	400—600
Белый электрокорунд αAl_2O_3 *2	Амфотерные	2050	3900	8,6	600—700
Оксид магния (магнезит) MgO *3	Основные	2800	3870	13,5	500—600
Соединения оксидов					
Дистенсиллиманит $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ *1	Слабокислые	1545	3250	—	500—600
Циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$ *3	»	1800	4570	5,1	600—800
Высокоглиноземистый шамот $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$ *3	Амфотерные	1810	—	5,3	—
Муллит $3Al_2O_3 \cdot SiO$ *3	»	1810	—	4,5÷5,7	—

Примечания: 1. Самой низкой стойкостью в вакууме обладает магнезит.

2. Температуры плавления указаны для чистых окислов.

3. Рекомендуемая дисперсность, мм: пылевидных материалов — не более 0,05, обсыпного материала: первого слоя — 0,1—0,16 и последующих слоев — 0,315—1,0.

4. Для дистенсиллиманита и муллита указаны температуры диссоциации для Al_2O_3 и вязкой эвтектической жидкости (SiO_2).

*1 Основа оболочек для сплавов Al, Mg, Cu.

*2 Основа оболочек для тугоплавких сплавов и Ti.

*3 Основа оболочек для сплавов Cu, Ni, тугоплавких, кроме Ti.

34. Характеристики исходных связующих материалов

Исходные материалы	Содержание связующего окисла, % (мас. доля)	Применяемые растворители	Связующий оксид	
			Химическое свойство	Температура плавления или разложения, °С
Этилсиликат (ЭТС) марок 30, 40, 50	32—50	Органические (например, спирт или ацетон)	Кислый	1713
Фосфаты (соли ортофосфорной кислоты)	—	Вода		1600
Сочетание ЭТС с фосфатными связующими	Сумма 10—12			1700
Бихромат аммония			Амфотерный	2135
Оксихлорид хрома		Спирт, вода		
Азотнокислый кальций	—	Метиловый спирт	Основной	2800

Примечания: 1. В основном исходные материалы являются жидкостями, азотнокислый кальций — кристаллическая соль.

2. Метиловый спирт ядовит.

35. Характеристики РР

РР	Примеси, % (мас. доля), не более	Точка кипения, °С	Плотность, кг/м³
Этиловый спирт: ректификат C_2H_5OH	Вода	78,5	790
сырец C_2H_5OH	Вода, сивушные масла	78	
гидролизный C_2H_5OH	Вода		
синтетический			
Эфироальдегидная фракция (ЭАФ)	Метиловый спирт 1,5; сивушные масла 2; эфир 30		
Изопропиловый спирт C_3H_7OH	Вода 14	82,4	780
Технический ацетон C_3H_6O	—	56,5	790—800
Метиловый спирт CH_3OH	—	64,1	790

36. Добавки, улучшающие свойства оболочковых форм

Введение добавки	Добавка	Примерное количество добавки, % (мас. доля)	Назначение
При подготовке шликера из пылевидного материала	Соляная кислота	По расчету *	Нейтрализация примесей
При гидролизе ЭТС	Вода	—	Получение связующего из ЭТС 40 или ЭТС 32
При гидролизе ЭТС в воду	Соляная кислота	—	Катализатор гидролиза и поликонденсации
	Сернокислый алюминий	0,1 к связующему раствору	Повышение стабильности связующих растворов и суспензий типов Орг-1, 2, 3
В начале приготовления водно-спиртовой суспензии со связующим из ЭТС	Поверхностно-активные вещества: метаупон, сульфенол, ДНС	До 0,22 к пылевидной составляющей суспензии	Смачивание моделей суспензий, разжижение суспензии
За 10—12 мин до окончания приготовления суспензии	Поливинилбутираль (раствор в спирте)	0,08—0,5 к связующему типов Орг-1, Орг-2	Повышение сендиментационной устойчивости суспензий и газопроницаемости оболочек
После приготовления суспензии	ВЖС (высшие жирные спирты	0,5—1,2	Уменьшение испарения ацетона на блоках моделей и в ванне с суспензией
При приготовлении суспензии	Закись-оксид кобальта	2,5 к корундовой суспензии	Повышение механических свойств и свариваемости жаропрочного сплава при заливке в вакууме

* Необходимую массу (г) соляной кислоты на 1 кг пылевидного материала определяют по формуле

$$M_{HCl} = (9{,}7 \div 10)\, x\,\text{Fe},$$

где x Fe — содержание железа в пылевидном огнеупоре, % (мас. доля).

Продолжение табл. 36

Введение добавки	Добавка	Примерное количество добавки, % (мас. доля)	Назначение
В обсыпочный материал	Карбонат кальция	40—50 к обсыпке	Разупрочнение в воде оболочек на алюминиевых отливках
	Поваренная соль	До 50 к обсыпке	
В горячую воду (~100 °С) для выплавления моделей	Контакт Петрова	0,1—0,2 объема воды	Предупреждение омыления модельных составов, защита ванн от коррозии

37. Классификация связующих растворов ЭТС

Связующий раствор	РР	Способ приготовления	Степень гидролиза $m = \frac{H_2O}{C_2H_5O}$	SiO_2 из ЭТС, % (мас. доля)	Добавка к жидкости, % (мас. доля)	Состояние раствора
Орг-1	Спирт, ацетон или их смесь	Раздельный	0,25—0,35	22—16	Антииспаритель	Истинный раствор полиэтоксисиланов
Орг-2		Совмещенный	0,56—0,7	15—16	До 1,2	Смесь истинных растворов полиэтоксисиланов и коллоидных растворов
Орг-3			~1	16—14		Преимущественно коллоидные системы
ВС-1	Вода	Раздельный	0,65—0,7	16—14	До 0,25 смачивателя	Смесь золей SiO_2 и полиэтоксисилоксанов
ВС-2		Совмещенный	—	18—20		
ВС-3				12—6		
ВС-1-К			По расчету	12—8	До 0,1 смачивателя	—
ВС-2-Ф				14—9		
ВС-3-ФК				9—6		
ВС-4-АЖФ				10—8		
ВС-5-АХФ				10—8		

Обозначения: К — кремнезоль; Ф — фосфорная кислота; АЖФ — алюможелезофосфат; АХФ — алюмохромфосфат.

Связующие растворы и суспензии готовят в смесителях конструкции НИИТАвтопрома с частотой вращения крыльчатки 2800 об/мин.

Приготовление связующих растворов. Растворы ЭТС подразделяют на органические, водно-спиртовые и водно-спиртовые с упрочняющими добавками (табл. 37).

Органические связующие растворы получают введением органических РР (спирта, ацетона или их смесей). Водно-спиртовые растворы получают введением воды в качестве разбавителя (спирт выделяется при гидролизе ЭТС). Упрочняющие добавки в водно-спиртовые растворы вводят на стадии гидролиза ЭТС.

Для приготовления растворов типа Орг-1 рассчитывают количество воды (X), соляной кислоты (K) и РР на 1 кг ЭТС для получения требуемого условного содержания SiO_2 в связующем. РР делят на две равные части, одной частью разбавляют ЭТС, а другой — подкисленную воду. Затем их сливают в охлаждаемый бак работающего гидролиза. Температуру раствора поддерживают в пределах 43—47 °С. Когда температура раствора начинает уменьшаться, перемешивание прекращают, т. е. процесс гидролиза окончен.

Растворы Орг-2 и Орг-3 готовят следующим способом: в гидролизер заливают ЭТС, органический РР и подкисленную воду, а затем активно перемешивают.

Приготовление суспензии проводят двумя способами: раздельным и совмещенным.

При раздельном способе пылевидную составляющую замешивают в готовое связующее; при совмещенном способе получение связующих совмещено с приготовлением суспензии. Классификация суспензий приведена в табл. 38.

Суспензии со связующим Орг-1 приготовляют раздельным способом. В баке смесителя со связующим замешивают пылевидную составляющую в течение 40—60 мин, а через 20 мин измеряют условную вязкость с помощью вискозиметра ВЗ-4. За 5—7 мин до окончания перемешивания вводят антиспаритель. Частота вращения крыльчатки смесителя 2800 об/мин.

Суспензию ВС-1 готовят в баке смесителя, заливая в него подкисленную воду, количество которой определено расчетом. Затем включают крыльчатку смесителя и при активном перемешивании воды вливают ЭТС, разбавляя водой суспензию до получения в смеси 12—16 % SiO_2. В образовавшуюся эмульсию замешивают пылевидную составляющую.

В другом случае готовят отдельно эмульсию на основе подкисленной воды и ЭТС (содержание SiO_2 составляет 32—34 %). Затем эмульсию, перемешивая быстро, вливают в шликер (смесь воды с пылевидной составляющей). Время приготовления суспензии 50—60 мин.

Суспензии ВС-2 и ВС-3 готовят совмещенным способом. В подкисленную соляной кислотой воду вводят 0,2—0,25 % (мас. доля) ПАВ. Включают смеситель и эту воду заливают в бак смесителя, засыпают пылевидную составляющую и после кратковременного перемешивания вливают ЭТС, продолжая перемешивание еще 50—60 мин. Температура суспензии не должна превышать 35 °С.

Технология приготовления суспензий типа ВК следующая:

ВС-1-К — кремнезоль разбавляют водой до содержания в растворе SiO_2 в количестве 2,5—5 % (мас. доля) и вливают его в смеситель; при перемешивании вводят соляную кислоту до pH = 1÷2, затем насыпают пылевидную составляющую и после кратковременного перемешивания вливают ЭТС в таком количестве, чтобы в жидкой составляющей было 8—10 % (мас. доля) SiO из ЭТС; перемешивают 40—60 мин. За 3—5 мин до окончания перемешивания вводят ПАВ;

ВС-2-Ф — в бак смесителя вливают подкисленную воду, ПАВ, фосфорную кислоту и всыпают $^2/_3$ необходимого количества пылевидного кварца, а затем постепенно вливают ЭТС; вводят оставшийся пылевидный кварц и перемешивают 50—60 мин;

ВС-3-ФК — кремнезоль разбавляют водой до содержания в растворе SiO_2 в количестве 2,5—6 % (мас. доля), в бак смесителя вливают подкисленную воду, ПАВ, фосфорную кислоту и раствор кремнезоля, при перемешива-

38. Классификация суспензий со связующим из ЭТС

Тип раствора связующего	Растворитель	SiO_2 из этилсиликата, % (мас. доля)	Добавка	Твердая составляющая суспензии	Живучесть, сут.	$\sigma_и$ при 900 °С, МПа
Орг-1	Спирт этиловый, ацетон или их смесь	12—20	Антииспаритель	Электрокорунд	30	12—14
				Кристаллический кварц		6—8
Орг-2		9—12		НКС	3—2	9—11
		18—22		Электрокорунд	12—10	12—16
		12—18		Кристаллический кварц	12—10	10—12
Орг-3		14—16			6—4	6—8
ВС-1	Вода	14—16	Без добавок	НКС	7—5	8—10
ВС-2		9—12	Смачиватель			10—12
		12—20				12—13
ВС-1-К		8—10	Кремнезоль	Кристаллический кварц	—	8—10
ВС-2-Ф		9—14	Фосфорная кислота		7—5	12—14
ВС-3-ФК		6—9	Фосфорная кислота и кремнезоль			—
ВС-4-АЖФ ВС-5-АХФ		8—10	Алюможелезофосфат		—	

Примечания: 1. Непрозрачное кварцевое стекло применяют со всеми связующими.

2. pH растворов поддерживают равным 1,5—2.

3. Суспензию Орг-1 готовят раздельным способом, а остальные суспензии — совмещенным способом.

4. Условную вязкость суспензий по вискозиметру ВЗ-4 для первого и последующего слоев подбирают в зависимости от применяемой суспензии.

нии всыпают $^2/_3$ пылевидной составляющей и затем постепенно вливают ЭТС из расчета, чтобы в жидкой составляющей содержалось 9—6 % (мас. доля) SiO_2 из ЭТС; вводят оставшуюся часть пылевидной составляющей и перемешивают 50—60 мин;

ВС-4-АЖФ и ВС-5-АХФ — отличается от приготовления суспензии ВС-2-Ф тем, что вместо фосфорной кислоты вводят в растворы готовые фосфаты.

Смачивание блоков моделей суспензией. Для смачивания блоки моделей медленно погружают в суспензию и также медленно поворачивают в суспензии в различных направлениях. Извлекая блок из суспензии, его поворачивают в различных направлениях с такой скоростью, чтобы излишек суспензии успел стечь и она равномерным слоем покрыла поверхности моделей. Далее на слой суспензии немедленно наносят зернистый обсыпочный материал.

Последний слой оболочки наносят без последующей обсыпки зернистым материалом, что несколько повышает общую прочность оболочки и предотвращает осыпание поверхностных зерен при выплавлении моделей.

Обсыпка блоков зернистым огнеупором осуществляется:

в барабанных или элеваторных пескосыпах «дождеванием», когда падающие зерна обсыпки равномерно внедряются в толщу слоя суспензии;

в псевдокипящем слое.

Сушка оболочек (табл. 39) проводится:

при атмосферном давлении в конвейерных или камерных горизонтальных и вертикальных сушилах с кондиционированием воздуха или добавлением 0,5—0,8 % (объем. доля) газообразного аммиака, в вытяжных шкафах, камерах с выкатывающимися тележками;

в вакууме при наличии паров аммиака (остаточное давление 2000—1300 Па)

Выплавление моделей. Воскообразные модели выплавляют, солевые — растворяют, а пенополистироловые — выжигают (табл. 40).

Перед выплавлением моделей и извлечением металлического стояка торцевой слой оболочки на воронке отрезают абразивным отрезным кругом.

39. Режимы сушки одного слоя (кроме первого) многослойных оболочек на блоках моделей

Связующий раствор	Давление, МПа	Влажность воздуха, %	Скорость воздуха, м/с	Продолжительность, мин		
				удаления влаги	обработки аммиаком	общего цикла
Орг-1	0,1 0,004—0,005	60—96	2—3 Отсасывание	60 20	30 10	100—100 45—60
Орг-2 Орг-3 Все типы ВС (см. табл. 37)	0,1	До 80 50—60 40—50	3—5	120—150	— — —	120—150

Примечания: 1. Температура сушки оболочек на блоках воскообразных моделей принята 20—24 °С. При использовании пенополистироловых моделей температура сушки может быть приблизительно 70 °С, что позволяет сократить продолжительность сушки.

2. Продолжительность сушки первого облицовочного слоя составляет 60—70 % указанной в таблице.

3. Продолжительность проветривания слоя 20 мин.

40. Способы удаления моделей

Способ удаления модели	Теплоноситель или растворитель	Режим удаления модели		Вероятность образования трещин в оболочке	Связующее оболочки, обсыпка
		температура, °С	продолжительность, мин		
Выплавление воскообразных моделей	Перегретый пар	~140	5—7	Незначительная	Любые
	ТВЧ	—	7—10		
	Полигликоли	200	3—5		
	Модельный состав	120	8—12	Малая	
	Вода	100	10—15	Средняя	Не растворимые в воде
	Горячий воздух *	150—300	10—15	Большая	Любые
Растворение солевых или пенополистироловых моделей	Вода	20—30	60—90	Незначительная	Не растворимые в воде
	Ацетон толуол *		10—20		
Выжигание пенополистироловых моделей	Газ, печи	500 и более			Любые

* Применяют при выплавлении заформованных блоков, особенно крупногабаритных (более 500 мм).

41. Сыпучие опорные наполнители

Наполнитель (примерный размер зерен наполнителя, мм)	Содержание компонента, % (мас. доля)	Назначение
1. Шамотный порошок (0,2—1)	100	Четырехслойные оболочковые формы для отливок с габаритными размерами до 100 мм
2. Шамотный порошок (0,2—1) с борной кислотой	99—98 1—2	Оболочковые формы для отливок с поверхностями более 100 × × 100 мм

Продолжение табл. 41

Наполнитель (примерный размер зерен наполнителя, мм)	Содержание компонента, % (мас. доля)	Назначение
3. *Порошок НКС (2—1)*	100	Формовка горячих крупногабаритных оболочек в горячем псевдосжиженном слое
4. Размолотые и просеянные через сито 2 мм остатки залитых оболочек		
5. Зернистый электрокорунд (0,1—0,22)		

42. Твердеющие опорные наполнители

Компоненты наполнителя	Содержание, % (мас. доля)	Компоненты наполнителя	Содержание, % (мас. доля)
1. Цемент глиноземистый марки 500	12—15	2 * Пульвербакелит (смола № 104)	1,0—1,5
Песок кварцевый 1К020	88—85	Песок 1К020	99—98,5
Вода	30—40 (сверх 100)	Смачиватель песка	0,5—0,6 (сверх 100)

* Формовку составом 2 необходимо производить в опоки с дном.

Модели удаляют из оболочек или форм после формовки блоков.

Формовка оболочковых форм. Применяют следующие методы формовки: прокаливание и заливка оболочек без опорного наполнителя; формовка холодных (после выплавления моделей) оболочек, прокаливание и заливка их в наполнителе; прокаливание оболочек без наполнителя, формовка их в горячем наполнителе и заливка. Уплотнение наполнителя проводят на вибростолах. Амплитуда колебаний 0,5—0,6 мм, частота — около 1400 в минуту.

Сыпучие наполнители, применяемые при холодной формовке оболочек, приведены в табл. 41.

Формовку твердеющими опорными наполнителями (табл. 42) проводят на вибромашинах с амплитудой колебаний 0,3—0,4 мм и частотой 1600—1500 Гц. Продолжительность вибрирования 10—15 мин. Формовку осуществляют в опоках из жаропрочной стали без дна.

Прокаливание оболочковых форм. Оболочковые формы, как правило, нагревают перед заливкой. Температура формы зависит от химического состава сплавов. Сплавы на основе никеля заливают при 900—1100 °С; на основе меди — при 600—700 °С и на основе алюминия и магния — при 100—300 °С.

Режимы прокаливания оболочковых форм приведены в табл. 43.

Литниково-питающие системы (ЛПС). Типы ЛПС приведены в табл. 44.

Конструкцию ЛПС выбирать из условий:

обеспечения принципа направленного затвердевания;

вертикального расположения наиболее протяженных стенок и тонких кромок отливки в форме;

создания условий механизированно-

43. Режимы прокаливания оболочковых форм

Форма	Основа оболочки	Линейное расширение при нагреве до 1100 °С, %	Продолжительность нагрева при прокаливании, ч	Температура оболочки, °С	
				при прокаливании	при заливке
Истинно-оболочковая	НКС	До 0,04	0,1—0,2	900—1100	20—1000
Оболочковая	Белый электрокорунд				
	Суспензия дистен-силлиманита		2,5—3		850—950
	Обсыпка (белый электрокорунд)				
	Шамот высокоглиноземистый		3,0—3,5	850—900	800—850
Оболочка в сыпучем сухом опорном наполнителе	Кристаллический кварц	1,2—1,4	5—6	900—950	850—900

Примечания: 1. При нагреве оболочек из кристаллического кварца происходит скачкообразное полиморфное превращение при 573 °С.

2. Только оболочковые формы из кристаллического кварца заформовывают в опорный наполнитель, остальные прокаливают и заливают без опорного наполнителя.

го производства отливок;

унификации типоразмеров ЛПС и их элементов с учетом эффективного использования оснастки, печей, минимального объема обработки резанием при обрезке отливок и последующим изготовлением из них деталей.

Области применения ЛПС различных типов, их особенности следующие:

тип I — ЛПС для отливок массой до 1 кг; основные размеры центрального стояка круглого, квадратного и треугольного сечения, высотой до 400 мм регламентируют соответствующие ГОСТы;

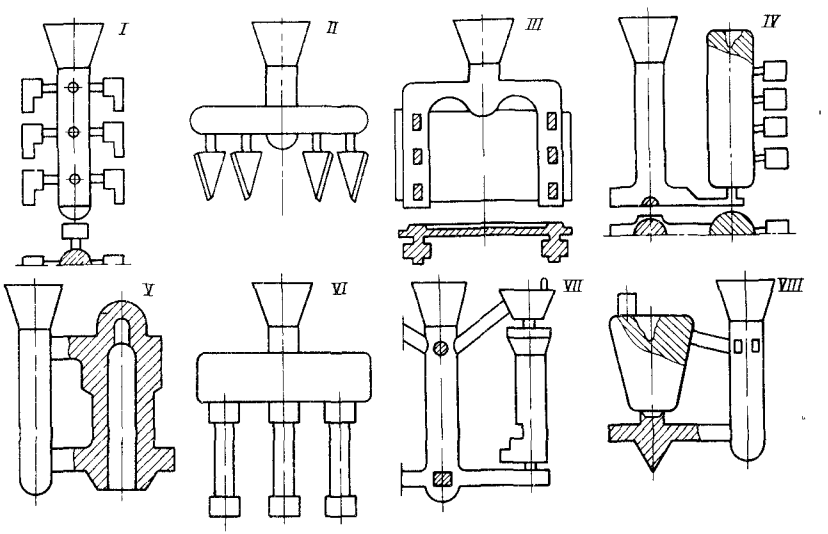
тип II — ЛПС с горизонтальным коллектором нескольких разновидностей: дисковыми, кольцевыми, радиальными прямоугольного сечения из двух, трех, четырех и пяти лучей, в виде двух параллельных брусьев прямоугольного сечения;

тип III — ЛПС с вертикальными коллекторами (кольцевыми с внешним кольцом диаметром 100—200 мм, парными незамкнутыми и замкнутыми, двухпарными); сечения вертикальных коллекторов прямоугольные, высота до 250 мм; эта литниковая система отличается высокой питающей способностью в период затвердевания отливок;

тип IV — ЛПС с обратным стояком круглого сечения, применяют при литье под низким давлением;

тип V — ЛПС используют при изготовлении крупных и протяженных отливок, при вертикальной ориентации которых обеспечивается хорошее заполнение формы снизу вверх;

44. Типы ЛПС



Тип	Питающий элемент	Прибыль
I II III IV	Центральный стояк Горизонтальный коллектор Вертикальный коллектор Вертикальный коллектор, заполняемый снизу	Коллективная
V	Боковая прибыль	Индивидуальная
VI	Верхняя прибыль	
	Местная прибыль и коллектор	Расчлененная
VII VIII	Система местных прибылей	

тип VI — ЛПС, получаемая с использованием модели верхней прибыли с металлическим каркасом (в этом случае создаются условия для механизации работ по изготовлению форм); ГОСТ регламентирует размеры верхних прибылей для отливок массой более 0,5 кг, высота 55—120 мм, диаметр 36—90 мм;

тип VII — ЛПС обеспечивает спокойное заполнение формы снизу (что особенно важно при литье из пленообразующих сплавов), подвод горячего расплава в прибыль к концу заливки и применение модели с металлическим каркасом; возможно размещение в форме нескольких отливок массой более 1 кг;

тип VIII — ЛПС с системой местных прибылей; наиболее эффективно используется при приближении прибылей непосредственно к питаемым ими

участкам; элементы отливки и ЛПС оказывают взаимное обогревающее влияние.

Заливка форм. При литье по выплавляемым моделям цветных сплавов используют графитовые тигли вместимостью не более 100 кг и стальные футерованные ковши. Вручную формы заливают из ковшей вместимостью до 30 кг. При вместимости ковшей более 30 кг применяют электромеханические подвески различных типов.

Для получения ответственных отливок заливку осуществляют в вакууме, в среде инертных газов и центробежной заливкой форм для крупных отливок, имеющих форму тел вращения и тонкие кромки на периферии отливки.

Технологические особенности различных видов литья по выплавляемым моделям. При изготовлении форм для литья по выплавляемым моделям алюминиевых и магниевых сплавов в обсыпку добавляют 30—40 % (мас. доля) поваренной соли или 40—50 % (мас. доля) карбоната кальция, что позволяет разупрочнять оболочки в воде после заливки.

Температура форм при литье по выплавляемым моделям алюминиевых и магниевых сплавов 100—300 °С, поэтому получаемые отливки имеют крупнокристаллическую структуру и относительно низкие механические свойства. В связи с этим металл перед заливкой необходимо рафинировать и модифицировать.

В цехах литья по выплавляемым моделям для плавки магниевых сплавов необходимо применять индукционные тигельные печи ИМП промышленной частоты с вставным стальным тиглем.

При изготовлении форм по выплавляемым моделям для литья тугоплавких металлов, в том числе и титана, в качестве обсыпки рекомендуется использовать электрокорунд, графит и кокс, а в качестве модельных составов — те же составы, что и для стального литья.

Плавку тугоплавких металлов в цехах литья по выплавляемым моделям проводят в гарнисажных печах с расходуемым электродом и электронно-лучевых гарнисажных промышленных установках. Формы заливают в вакууме и среде инертных газов с использованием центробежных установок.

Особенностью литья титановых сплавов по выплавляемым моделям является применение наиболее инертных по отношению к титану исходных формовочных материалов, а также изменение режимов тепловой обработки форм. Для изготовления форм в этом случае используют так же, как и при литье магниевых сплавов, электрокорунд, графит и кокс. Обжиг форм проводят в печах с воздушной средой при 970—1000 °С с выдержкой 2—3 ч. Для уменьшения взаимодействия электрокорундовых форм с титаном на них наносят покрытие из пироуглерода, ряда металлов и солей.

Специфические виды дефектов и рекомендации по их исправлению при литье по выплавляемым моделям приведены в табл. 45.

5. Литье в оболочковые формы

Общие положения. Литьем в оболочковые формы получают сложные фасонные отливки массой до 200 кг и с максимальными размерами до 1500 мм. Наиболее эффективно изготовление этим способом отливок массой 5—15 кг в условиях крупносерийного и массового производства.

Оболочковые формы изготовляют из песчано-смоляных смесей, кварцевых или циркоковых песков и искусственных термореактивных смол с добавлением увлажнителей, растворителей и катализаторов, твердеющих в оснастке.

Применение термореактивных смол в качестве связующих обеспечивает быстрое отверждение форм (30—90 с) и их высокую прочность (до 5000 кПА) при растяжении.

Повышенная прочность форм позволяет изготовлять их тонкостенными (5—12 мм), что снижает расход смесей. Отливки имеют на 40—50 % меньшие припуски на обработку резанием, чем отливки, полученные в песчано-глинистой форме; сокращаются затраты на обрубно-очистные операции.

45. Дефекты отливок при литье по выполняемым моделям

Дефект	Причины образования дефекта	Меры предупреждения и устранения
Шероховатость поверхности, величина неровностей необрабатываемых поверхностей отливки превышают установленные нормы	Недостаточная чистота поверхности пресс-формы	Рабочую поверхность пресс-формы обработать и отполировать. Прочистить, протереть и обдуть сжатым воздухом полости пресс-форм для удаления модельного состава, воды, излишнего смазочного материала
	Недостаточная поверхностная прочность оболочки	Применять связующие растворы, обеспечивающие технологически необходимую прочность оболочек
2. Заливы (металл проникает в трещины оболочки, образуя на поверхности отливки гребешки, либо между слоями оболочки, образуя ужимины)	Образование трещин в одном или нескольких слоях оболочки формы вследствие: недостаточной ее термостойкости, нарушения режимов изготовления формы, некачественных модельных и формовочных материалов	Не допускать в производство материалы, несоответствующие полностью по составу и свойствам, утвержденным ТУ
3. Пригар (слой формовочных материалов и продуктов их взаимодействия с залитым металлом прочно соединяется с поверхностью отливки)	Химическая активность к материалу оболочки окислов, растворенных в расплаве или образующихся на поверхности контакта металла с формой и на отдельных элементах, входящих в сплав	Использовать формовочные материалы, химически инертные к применяемому литейному сплаву
4. Недолив (незаполнение металлом отдельных частей отливки)	Недостаточная жидкотекучесть металла в результате низкой его температуры при заливке	Соблюдать оптимальную температуру заливки металла
	Образование воздушных мешков в форме при заливке вследствие низкой газопроницаемости оболочки формы	Повышать газопроницаемость формы. Применять выпоры в литниковой системе

Продолжение табл. 45

Дефект	Причины образования дефекта	Меры предупреждения и устранения
5. Спаи (неполное соединение потоков металла, имеющее вид шва с заваленными краями)	Низкая температура заливаемого металла	То же, что в п. 4
	Низкая температура литейной формы	Получать сложные отливки с тонкими стенками в горячих формах
	Дефекты литниковой системы	Исключить заполнение формы встречными потоками
6. Усадочные раковины и пористость (открытые или закрытые полости с шероховатыми поверхностями)	Нетехнологичная конструкция отливки	Улучшить конструкцию отливки
	Недолив прибыли или литниковой воронки и стояка расплавом	Литниковая воронка, стояк и прибыли при заливке должны быть заполнены металлом
	Повышенная насыщенность металла газами и окислами	Тщательно рафинировать и модифицировать металл перед заливкой
7. Горячие трещины	Недостаточная податливость литейной формы	Сократить число слоев оболочковой формы
8. Холодные трещины	Напряжения, вызванные внешними воздействиями на отливку	Не допускать преждевременной выбивки отливок

Положительные качества оболочковой формы — податливость, газопроницаемость, негигроскопичность.

Припуск на обработку резанием при литье в оболочковые формы больше, чем при литье по выплавляемым моделям, и составляет 0,5—1,5 мм в зависимости от наибольших размеров отливки.

Недостатками литья в оболочковые формы являются: высокая стоимость формовочных материалов и оснастки, необходимость оборудования для механизации процессов и организации эффективной вентиляции на всех этапах производственного процесса.

Все оболочковые формы в зависимости от физико-химической природы применяемых связующих материалов подразделяют на две группы: твердеющие при воздействии физического фактора (например, нагрева) и твердеющие при воздействии химического фактора (например, продувки газа).

Сущность технологического процесса литья в оболочковые формы (рис. 21)

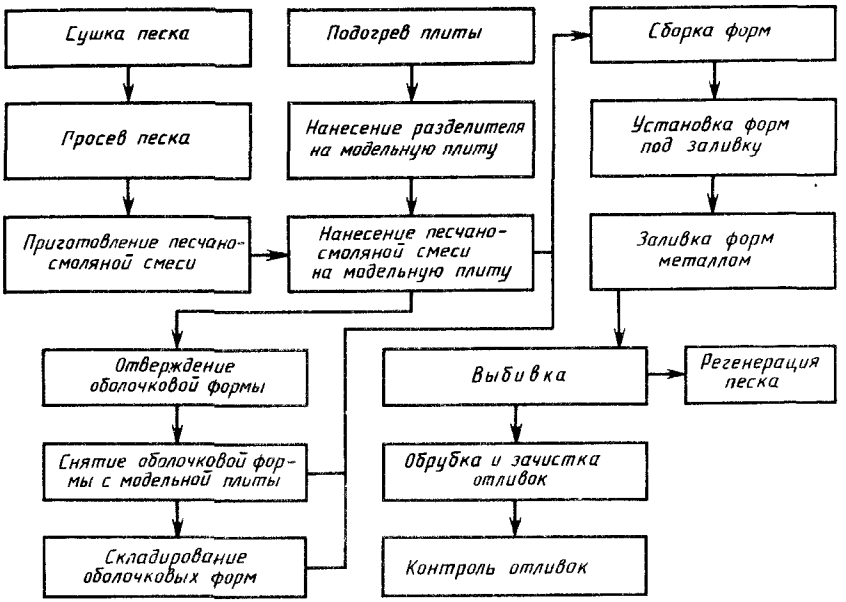


Рис. 21. Схема технологического процесса литья в оболочковые формы

состоит в следующем: предварительно нагретую плиту с металлическими моделями покрывают смесью из песка и термореактивной синтетической смолы. Под действием тепла смола в слое смеси, прилегающем к моделям и плите, плавится и на модельной плите образуется однородная полутвердая песчано-смоляная оболочка. После удаления избытка смеси модельную плиту с образовавшейся на ней полутвердой оболочкой дополнительно нагревают для отверждения оболочки.

Твердую оболочку (полуформу) снимают с модельной плиты и соединяют с соответствующей ей другой оболочкой (полуформой), проставляют стержни и скрепляют зажимами или склеивают. Оболочковые формы заливают металлом в вертикальном или горизонтальном положении. Формы из песчано-смоляной смеси после заливки металла легко разрушаются при выбивке.

Поверхности моделей и стержневых ящиков должны иметь шероховатость $Ra = 0{,}8 \div 0{,}4$ мкм, что обеспечит получение отливок с шероховатостью поверхности $Ra = 3{,}2 \div 1{,}6$ мкм.

Песчано-смоляные смеси для изготовления форм и стержней (табл. 46 и 47). Для изготовления форм применяют мелкозернистые кварцевые пески (1К01, 21К025, 2К01) с добавкой более крупных песков (3К025 и 3К0315).

Стержни по сложности подразделяют на четыре класса:

I класс — стержни сложной конфигурации, образующие в отливках внутренние необрабатываемые поверхности;

II класс — стержни сложной конфигурации, имеющие массивные части и очень тонкие ребра, выступы или перемычки;

III класс — центровые стержни средней сложности, не имеющие особо тонких частей, но образующие в отливках необрабатываемые поверхности;

IV класс — стержни средней и малой сложности, образующие в отливках поверхности с незначительной шероховатостью.

Содержание в смеси песка и смолы зависит от: характеристики песка и

46. Состав и последовательность приготовления песчано-смоляных смесей для цветного литья

Смесь	Отливка		Состав смеси, % (мас. доля)					Временное сопротивление после полимеризации, МПа	Приготовление смеси		Продолжительность перемешивания, мин
	Масса, кг	Толщина стенок, мм	Песок	Связующее — пульвербакелит	Увлажнитель				Агрегат	Последовательность введения составляющих	
					Борная кислота	Ацетон	Керосин				
ПСБМЛ-1: неплакированная	5—10	5—25	100 % 1К1П063А (или 1К010А, 1К010Б)	5—6	—	—	0,3—0,5	1,8	Бегуны	Кварцевый песок, пульвербакелит, керосин	5—6
полуплакированная	До 15	10—25	—	2,5—3,5; 5—6 бакелитового лака	—	—	—		Шнековый смеситель и бегуны	Кварцевый песок, пульвербакелит, бакелитовый лак	20—30
плакированная	5—15	10—25	—	4—5	0,5	2,5—3,0	—		Бегуны	Кварцевый песок, борная кислота, пульвербакелит, ацетон	10—12
ПСБМЛ-2 для двухслойных оболочковых прессованных форм, облицовочная: плакированная	10—50	3—10	100 % пылевидного кварца	3—5	0,5—0,7	2,5—4,0	—	0,3	Бегуны	Пылевидный кварц, борная кис-	10—15

										лота, пульвербакелит, ацетон	
полуплакированная				1,5—2,0; 3—6 бакелитового лака	—	—	—	0,2	Шнековый смеситель и бегуны	Пылевидный кварц, пульвербакелит, бакелитовый лак	10—15
ПСБМЛ-3 для двухслойных оболочковых форм, неплакированная			100 % 1К016А9 (или 1К02А, 1К02Б, 1К0315А, 1К0315Б)	3—4	—	—	0,3—0,5	2,0	Бегуны	Кварцевый песок, пульвербакелит, керосин	5—6
ПСБЛЛ-1: неплакированная	1—5	3—7	100 % 1К0063А (или 1К010А, 1К010Б, 1К016А, 1К016Б)	4—5	—	—	0,3—0,5	1,5			
полуплакированная	5—50	7—20		2—3; 4—5 бакелитового лака	—	—	—	1,5	Шнековый смеситель и бегуны	Кварцевый песок, пульвербакелит, бакелитовый лак	20—30
плакированная				3,5—5,0	0,5	2—3	—	1,5	Бегуны	Кварцевый песок, пульвербакелит, борная кислота, ацетон	10—12

Продолжение табл. 46

Смесь	Отливка		Состав смеси, % (мас. доля)					Временное сопротивление после полимеризации, МПа	Приготовление смеси		Продолжительность перемешивания, мин
	Масса, кг	Толщина стенок, мм	Песок	Связующее — пульвербакелит	Увлажнитель				Агрегат	Последовательность введения составляющих	
					Борная кислота	Ацетон	Керосин				
ПСБЛЛ-2 для двухслойных оболочковых форм: плакированная, облицовочная	5—50	7—20	100 % пылевидного кварца	3—4	0,5	2—4	—	0,25	Бегуны	Пылевидный кварц, пульвербакелит, борная кислота, ацетон	10—12
полуплакированная, облицовочная				1,5—2,0; 3—4 бакелитового лака	—	—	—	0,200	Шнековый смеситель и бегуны	Пылевидный кварц, пульвербакелит, бакелитовый лак	20—30
неплакированная для второго слоя формы			100 % 1К016А (или 2К020А, 2К020Б, 1К0315Б)	3—4	—	—	0,3—0,5	700	Бегуны	Кварцевый песок, пульвербакелит, керосин	5—6

Примечания: 1. Обозначения смесей: П — песчаная, С — смоляная, Б — бакелитовая, МЛ — для медных сплавов, ЛЛ — для литья легких сплавов (алюминиевых и магниевых).

2. При литье алюминиево-магниевых и магниевых сплавов в состав смесей в качестве защитной присадки вводят 10 % серного колчедана.

3. Продолжительность полимеризации 3 мин при 370—380 °С.

47. Стержневые песчано-смоляные смеси

Класс стержней	Размеры стержня, мм		Содержание компонентов в смеси, % (мас. доля)					Метод изготовления стержней
	Толщина оболочки	Диаметр	Наполнитель		Связующее		Катализатор (К), увлажнитель (Ув), другие компоненты	
			Песок	Стеарат кальция	ПК-104	ФФ-1С		
Отливки из алюминиевых сплавов								
I, II	5—30	20—200	2К0315Б 50 %; 2К016Б 50 %	—	—	—	Хлористого аммония 1 % массы смолы УКС	Гравитационный, пескодувный, центробежный в горячей оснастке
I, II	5—50	30—500	2К0315Б 50 %; 2К016Б 50 %	—	—	—		
I—III	5—25	20—200	1К02А 100 %	—	—	—	ВР-1*[1] 3,0—3,5 %; фторбората аммония 1,5 %; Ув (керосин) 0,2 %	Пескодувный, центробежный
	5—30	20—200	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	0,05	4	—	Древесной пропитанной муки *[2] 0,5	Гравитационный, пескодувный
	30—50	20—500	1К01А/Б 30 %; 1К02А/Б 70 %	0,05	4	—	Древесной пропитанной муки 2 %	
II—IV	50—150	20—400	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	—	—	3,0—3,5	Фторбората аммония 1,5 %; древесной пропитанной муки 0,8 %	
III, IV	10—50	20—500	1К02А/Б 100 %	—	—	—	Ув (керосин) 0,2 %	Гравитационный, пескодувный (горячим методом)

Продолжение табл. 47

Класс стержней	Размеры стержня, мм		Содержание компонентов в смеси, % (мас. доля)					Метод изготовления стержней
	Толщина оболочки	Диаметр	Наполнитель		Связующее		Катализатор (К), увлажнитель (Ув), другие компоненты	
			Песок	Стеарат кальция	ПК-104	ФФ-1С		
			Отливки из титановых сплавов					
I—III	10—25	20—250	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	0,05	4,5—6,0	—	—	Пескодувный, центробежный
	25—50	20—400	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	0,05	6,0	—	—	
I—IV	10—40 40—100	20—200 20—400	1К02А/Б 80 %; 1К01А/Б 20 %	—	3,5—4,0	—	Серебристого графита 1,5 %	
I—II	—	Малый диаметр, большая длина	1К01 100 %	—	—	—	Ув (фурфурол) 2 %	Пескодувный, центробежный
I—III	5—30	20—200	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	0,05	6	—	Пропитанного бентонита 2 %	
	5—50	20—500	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	0,05	6—7	—		Пескодувный, центробежный
	5—20	20—200	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	—	—	2,7—3,5	Серебристого графита 2 %; пропитанной древесной муки *2 2 %	Гравитационный, пескодувный (горячим методом)
I—III	5—40	20—400	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	—	—	3—4		

Класс стержней	Размеры стержня, мм		Содержание компонентов в смеси, % (мас. доля)					Метод изготовления стержней
	Толщина оболочки	Диаметр	Наполнитель		Связующее		Катализатор (К), увлажнитель (Ув), другие компоненты	
			Песок	Стеарат кальция	ПК-104	ФФ-1С		
I—IV	—	Малый диаметр	1К01 100 %	—	—	—	Ув (фурфурол) 0,7—1 %	
			Отливки из магниевых сплавов					
I—III	5—50	15—350	1К02А/Б 70 %; 1К01А/Б 30 %	0,5	6	—	Фторбората аммония 1,5 %; древесной пропитанной муки 2 %	Гравитационный, пескодувный
II—IV	5—15	20—500	1К02А/Б 100 %	—	3,0—4,5	—	ВР-1 3,0—3,5 %; фторбората аммония 1,5 %; Ув (керосин) 0,4 %	Центробежный, пескодувный

*1 ВР-1 — смола, содержащая (мас. доля) до 40 % сухого остатка и до 6 % свободного фенола, сохраняет свои свойства в течение трех месяцев при 25 °С.

*2 Пропитанная древесная мука из расчета: 6 мас. частей силиката натрия на 94 мас. части муки при тонкости помола 0,1 мм; смесь перемешивают 3—5 мин, высушивают, измельчают и просеивают.

смолы; размеров оболочек; материала модели и метода нагрева.

Рекомендуется оптимальное содержание бакелитовой смолы, % (мас. доля): 4,5—5 для песков фракции 0315; 6—7 для песков фракции 016; около 9 для песков фракции 01. Если в качестве связующего применяют пульвербакелит, то при изготовлении форм для отливок из цветных сплавов его достаточно 2,5—6 % (мас. доля).

Для предупреждения расслоения смол в состав смеси вводят увлажнители (жидкая фенольная смола, масла, парафин и др.), для получения гладкой поверхности отливок вводят графит, а для исключения проникновения жидкого металла в стенки формы — кварцевую или цирконовую муку.

Процесс приготовления песчано-смоляных смесей заключается в подготовке песков и смешении отдельных составляющих. Связующие материалы — смолы, катализаторы отверждения и увлажнители поставляются на заводы-потребители в готовом виде. Разделительные составы приготавливают на заводах-потребителях. Облицовочные смеси готовятся либо на бакелитовом лаке, либо на лаке с пульвербакелитом. Наполнительные смеси приготавливают на пульвербакелите.

Исходные материалы вводят в песчано-смоляные смеси в следующем порядке: сначала песок с увлажнителем, а затем порошкообразную смолу. При приготовлении песчано-смоляных смесей для стержней катализаторы необходимо смешивать с песком до ввода в смеситель смолы.

Для приготовления плакированных песчано-смоляных смесей применяют смесители (лопастные, шнековые ШС-400, маятниковые 115, производительностью 2,5—3 т/ч), бегуны с вертикальными катками и автоматическую установку АКС-1 производительностью 0,9 т/ч.

Песчано-смоляные смеси на основе термореактивных смол прилипают к рабочей поверхности модельной и стержневой оснастки, вследствие чего ухудшается качество поверхности оболочковых форм и стержней, снижается размерная точность и увеличивается брак. Для исключения прилипания песчано-смоляных смесей нагретую до 300 °С оснастку 2—3 раза покрывают разделительным составом, который наносят пульверизатором или распылителем (табл. 48). Разделительный состав обеспечивает образование термостойкой пленки.

Изготовление оболочковых форм и стержней. По способу засыпки модельной оснастки песчано-смоляной смесью различают следующие методы изготовления форм: свободной засыпки, свободной засыпки с вибрацией, прессования и прессования с диафрагменной подпрессовкой.

Свободная засыпка. Модельную плиту с укрепленными на ней моделью и литниковой системой нагревают до 200—250 °С, устанавливают на опрокидывающийся бункер с песчано-смоляной смесью, закрепляют. При повороте бункера на 180° песчано-смоляная смесь под действием тепла модельной оснастки в течение 25—35 с образует оболочковую полуформу требуемой толщины. Бункер поворачивается в первоначальное положение, оставшаяся смесь осыпается с плиты.

Модельную плиту вместе с оболочкой помещают в печь на 2—4 мин. Температура окончательного отверждения оболочки толщиной 5—8 мм составляет 350—400 °С.

Свободная засыпка с вибрацией. После поворота бункера с закрепленной на нем модельной плитой на 3—5 с включают вибратор с частотой колебаний 2500—3000 Гц, что способствует лучшему уплотнению смеси и повышению прочности оболочки.

Прессование. Технологический процесс изготовления оболочковых форм осуществляется при тех же параметрах, что и свободная засыпка с использованием прессовых машин и установок. Удельное давление прессования 196—294 кПа.

Прессование с диафрагменной подпрессовкой. Технологический процесс осуществляется с использованием машин с прессующей головкой диафрагменного типа (рис. 22). Стойкость диафрагм 10 000—60 000 оболочковых полуформ, избыточное давление воздуха 0,2—0,7 кПа. Метод применяется для изготовления двухслойных оболочковых полуформ.

Пресс-форму нагревают до 170—

48. Разделительные составы

Состав	Температура нанесения состава на модели, °С, не более	Число съемов после одноразового покрытия	Расход (кг) состава на 1 т отливок
Водно-мыльная эмульсия на жидкости № 5 [5—7 % (мас. доля) полиэтиленсилоксана]	240	1	0,8
Кремнийорганическая жидкость (полиэтиленсилоксан):			
№ 2	250	6—13	0,35
№ 3	300	6—13	0,35
№ 5	220	3—4	~0,5
Жидкость:			
СКТ-4	300	20—50	0,35
СКТ-3	300	15—20	~0,35
СКТ-2	250	20—40	0,35
СКТ-Р (раствор 35 г СКТ в 1 л уайт-спирита)	300	20—50	0,5—0,8
Озокерит М-60	300	1—3	5

Условные обозначения: СКТ — С — синтетический, К — каучук, Т — термостойкий.

190 °С, с избытком засыпают облицовочной песчано-смоляной смесью, выдерживают 2—3 с и сбрасывают избыток смеси. Затем формы заполняют наполнительной песчано-смоляной смесью и проводят прессование под давлением 0,2—0,3 МПа. Полное отверждение оболочки проходит в печи с температурой 350—400 °С в течение 3—4 мин.

Надув. Оболочковые формы надувом можно получать: в горизонтальном положении, когда песчано-смоляную смесь надувают на горячую модельную плиту под давлением 0,15—0,2 МПа через пористую перегородку; в вертикальном положении с нагретой моделью и контурным блоком, где давление надува должно быть не менее 0,64 МПа. Метод высокопроизводителен (время надува смеси — 1—2 с); период отверждения (2—5 мин) совмещен с надувом (температура модели и контурной плиты 300—360 °С). По сравнению с другими методами этим методом получают оболочки желаемых толщины и формы.

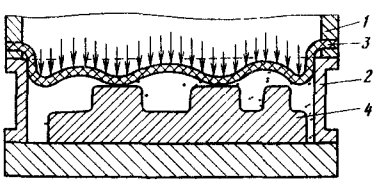


Рис. 22. Схема прессования диафрагменной головкой:

1 — головка, *2* — рамка; *3* — эластичная диафрагма; *4* — модель

Оболочковые полуформы изготовляют на полуавтоматических и автоматических установках СКФ-2М, ЛОФ-1, УОФ-1, АКФ-2К, АКФ-3 и др. Размеры модельных плит от 300×450 до 650×2000 и 1100×1380 мм. Установки для производства оболочковых полуформ выпускаются одно-, двух-, четырех-, шести-, двенадцати- и восемнадцатипозиционные с прямолинейным и круговым (карусельного типа) расположением позиций (рис 23).

Технология изготовления оболочковых стержней. Стержневой ящик нагревают в печи до температуры 200—250 °С в течение 10—20 мин. Рабочую поверхность покрывают разделительным составом, затем опять прогревают 3—4 мин и засыпают песчано-смоляной смесью и выдерживают 15—20 с. Время

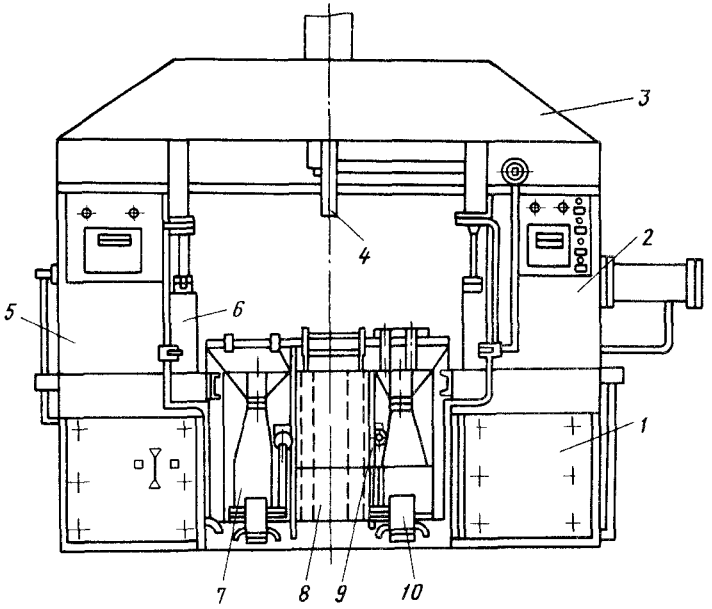


Рис. 23. Двухпозиционная машина УКФ-2:
1 — станина; *2* и *5* — электропечи; *3* — вытяжной кожух; *4* — пневматический подъемник; *6* — заслонка; *7* — пневмогидравлический цилиндр; *8* — поворотный бункер; *9* — механизм поворота; *10* — ножной пневмокран

выдержки зависит от температуры нагрева и требуемой толщины оболочки. По истечении указанного времени излишек смеси высыпают из ящика. Стержень вместе с ящиком помещают в печь с температурой 300—450 °С и выдерживают 40—45 с для завершения второй стадии полимеризации. После этого вынимают стержень из ящика.

В зависимости от сложности конфигурации стержней для их изготовления применяют следующие методы: свободной засыпки, уплотнения, пескодувный, пескострельный, центробежный и холодного отверждения.

Применяют следующие методы изготовления оболочковых форм: с применением псевдоожиженных смесей; из холоднотвердеющих смесей (ХТС).

Оболочковые стержни изготовляют полумеханизированным и механизированным способами на установках и машинах с ручным управлением, на полуавтоматических и автоматических машинах.

Для изготовления мелких стержней из песчано-смоляной смеси в нагреваемых ящиках размером 250×150×50/50 мм применяют однопозиционную машину Н2,5-S-EW; для изготовления стержней сложной конфигурации в нагреваемых ящиках размером 500×400×300; 600×500×350 и 700×550×350 мм — соответственно машины 91873, 91874 и 91875.

Двухпозиционную машину 2БН83 используют для одновременного изготовления стержней в двух ящиках размером 400×400×60/60 мм или одном ящике размером 400×400×120/120 мм.

Восьмипозиционную (автоматическую) машину 4532 используют для изготовления стержней в горячих ящиках размером 200×110×20/40 мм массой до 1 кг.

Машины 4509 используют для изготовления стержней в ящиках размером 400×300×200 мм, массой до 6 кг.

В цехах массового и крупносерий-

ного производства широко применяют центробежные машины с горизонтальными и вертикальными осями вращения для получения стержней из песчано-смоляных смесей типа ЦУОГ.

Отверждение форм и стержней в оснастке (ХТС) способствует повышению размерной точности, стабильности массы отливок и снижению припусков на их механическую обработку. Преимуществом способа является сокращение брака литья по засорам, газовым раковинам, пригару. Недостаток способа — необходимость использования обогащенных кварцевых песков [О61К, О62К зернистостью 02А (Б), 016АБ]. Влажность песка не должна превышать 0,5 %, массовая доля глины — 1 %. Песок подогревают до 25—25 °С. В качестве наполнителя можно использовать дистен-силлиманит, циркон, рутил, хромит и хромомагнезит; в качестве связующих материалов — синтетические смолы, лингосульфанаты, жидкое стекло, фосфорные и органические кислоты.

Состав [% (мас. доля)] холоднотвердеющей смеси (основа — кварцевый песок); смолы УКС-Л 2,5÷3,5; катализатора ОК 0,5—0,6. Свойства смеси: газопроницаемость 150—200 ед.; живучесть 3—5 мин; время отверждения в оснастке 6—8 мин; прочность на сжатие через 24 ч не менее 3,0 МПа.

Смола УКС-Л (мочевиноформальдегидная) содержит (мас. доли) не менее 65 % сухого остатка и не более 1,2 % свободного формальдегида при вязкости 30—100 с по вискозиметру ВЗ-1.

Приготовление смесей заключается в перемешивании составляющих в лопастных смесителях 19611, 196639, 19641, 19653, 4727, 4732 периодического или непрерывного действия, выпускаемых павлоградским заводом «Литмаш».

Изготовление форм и стержней из песчано-смоляных ХТС производят пескострельным, пескодувным, пескометным способами. Наиболее широко применяют способ, основанный на свободной засыпке ХТС с последующим доуплотнением на вибростоле или вручную.

Технические характеристики смесителей непрерывного действия для приготовления холоднотвердеющих песчано-смоляных смесей приведены в табл. 49.

49. Технические характеристики смесителей непрерывного действия (конструкции НИИТАвтопром)

Параметр	Модель смесителя			
	4731	4727	4737	4732
Производительность, м³/ч	1	2,5	4	10
Диаметр шнека, мм	112	200	220	300
Частота вращения вала, об/мин	100	95	95	95
Установленная мощность, кВт:				
с питательной головкой	—	10	12	16
без питательной головки	3,0	6,3	10	12
Угол поворота рукава, ...°	180	320	320	320
Масса, кг	700	2430	3100	3500

Примечание. Расход воздуха 0,02 м³/ч, рабочее давление 392—588 кПа, напряжение питания 220/127 В.

Особенности заливки форм цветными сплавами. Перед заливкой две оболочковые полуформы соединяют механическим скреплением и склеиванием. Механическое скрепление осуществляют с помощью болтов, скоб, струбцин, пневматических и других зажимов. Для склеивания полуформ, предназначенных для заливки тяжелых цветных металлов и сплавов, применяют клеи с температурой разрушения до 350 °С (ВИАМ-Б3, КБ-3, ЦНИПС-2), а для заливки легких сплавов — с температурой разрушения до 200 °С (МФС-1, М-60, М-70, К-17, С-1 и С-35). Клей наносят шприцами. Склеенные оболочки поступают на пресс, а затем на заливочный участок.

Заливку форм осуществляют в горизонтальном или вертикальном положении. Хорошо соединенные формы заливают без опорного материала.

50. Дефекты отливок при литье в оболочковые формы

Дефект	Причина образования	Меры предупреждения и устранения
Отслаивание литейной корки отливки	Затруднен отвод тепла вследствие образования воздушного зазора между затвердевшей коркой отливки и оболочковой формой	Устранить деформацию оболочек путем их лучшего скрепления, склеивания, засыпки формы во время заливки Повысить содержание связующего в песчано-смоляной смеси
	Деформация и расширение формы после заливки, приводящие к удалению на некоторых местах отливки литейной корки	Уплотнить засыпку вибрацией или встряхиванием
Газовые раковины	Повышенное содержание связующего или неравномерное его распределение в песчано-смоляной смеси	Уменьшить содержание смолы в песчано-смоляной смеси
	Применение песка, вызывающего низкую газопроницаемость оболочковой формы и стержня	Увеличить газопроницаемость оболочки и стержня за счет применения более крупной фракции песка Повысить охлаждающую способность оболочковой формы
	Большая толщина оболочек за счет применения мелкого песка	Добавлять в песчано-смоляную смесь цирконовый песок, хромит, оливиновый песок, фостерит, известняк
Повышенная шероховатость	Местные дефекты оболочки или стержней (забоины, поднутрения)	Контроль качества моделей, оболочек и стержней перед сборкой, обдув сжатым воздухом
Спаи	Несоответствие конструкции отливки требованиям технологии, плохая жидкотекучесть металла, низкая температура заливки, медленное заполнение формы	При изготовлении сложных тонкостенных отливок: подводить металл в форму через несколько питателей в разные точки отливки; обеспечить направление питателей в одну сторону При изготовлении отливок с тонкими ребрами подводить литники (питатели) в ребра Заполнять формы металлом с оптимальной температурой и с определенным напором

Продолжение табл. 50

Дефект	Причина образования	Меры предупреждения и устранения
Трещины горячие и холодные	Низкая податливость оболочковых форм и стержней из-за высокой прочности	Повышение податливости формы
Усадочные раковины	Неправильная конструкция отливки, не обеспечивающая достаточное питание отливки в процессе затвердевания	Применение открытых прибылей в оболочковых формах с вертикальным разъемом При горизонтальном разъеме форм следует применять закрытые прибыли

Толщина оболочки должна быть не менее 8 мм, масса отливки до 12 кг. Остальные формы ставят в жакеты и засыпают чугунной дробью диаметром 2—4 мм, гравием, песком или формовочной смесью.

Все сплавы заливают при температуре на 30—50 °С ниже температуры заливки сплавов в песчано-глинистые формы. Целесообразно формы заполнять быстро, не допуская местных перегревов литниковой системы.

Исходя из особенностей титановых литейных сплавов для изготовления оболочковых форм применяют графитовые смеси СГО-3 (мелкие и средние отливки) и СГО-4 (крупные особо ответственные отливки).

Для изготовления оболочковых форм широко применяют графитовую формовочную смесь, содержащую, % (мас. доля): графитового порошка зернистостью 0,4 мм 65—75, мелкой фракции (0,063—0,16 мм) на пульвербакелите 25—35.

Специфические виды дефектов при литье в оболочковые формы приведены в табл. 50.

6. Литье в керамические формы, изготовленные по постоянным моделям

Общие положения. Литье в керамические формы по постоянным моделям относится к способам получения точных отливок, которые по массе и габаритным размерам не могут быть изготовлены по выплавляемым моделям.

Керамические литейные формы обычно изготовляют из жидкоподвижной химически твердеющей смеси. Литьем в керамические формы по постоянным моделям получают мелкие, средние и крупные отливки массой 0,2—10 000 кг, точность которых примерно соответствует точности отливок при литье по выплавляемым моделям. Для литья в керамические формы, изготовленные по постоянным моделям, применяют любые цветные сплавы.

Преимущества литья в керамические формы — широкая номенклатура отливок, простота оснастки, отсутствие, как правило, при изготовлении форм специальных средств уплотнения. Литейная форма изготовляется из формовочной смеси с суммарной удельной поверхностью зерен огнеупорного наполнителя не менее 2500 мм²/г.

Некоторые отливки невозможно получить без применения керамических форм и стержней (например, лопатки турбин с тонкими каналами большой протяженности, элементы волноводов, колеса турбин и насосов). Этот метод находит также широкое применение при выполнении художественного литья. Детали из некоторых сплавов на никелевой и титановой основах можно получать только литьем в керамические формы.

Размерная точность отливок дости-

гает, мм, ±0,075; ±0,25 и ±1,0 на длине соответственно: 100; 450 и 1000 мм.

Получение бронзовых отливок лопастей гребных винтов массой до 1—2 т в облицованные керамикой кокили позволяет снизить расход металла на форму на 23—35 %, повысить коэффициент использования металла с 55 до 75 %, при этом припуск на обработку резанием не превышает 1,0—1,5 мм.

Недостатком способа является высокая стоимость формовочных материалов, которая составляет 25—60 % стоимости 1 т годных отливок.

Керамические смеси имеют после прокалки низкую прочность на изгиб (0,2—0,5 МПа) и недостаточную газопроницаемость (10—20 ед.), что приводит к браку литья по засорам, газовым раковинам, увеличению расхода этилсиликата (ЭТС) и всей смеси, а следовательно, к необходимости ограничивать массу отливок.

Особенностью процесса литья в керамические формы по постоянным моделям является быстрое твердение суспензии в модельной оснастке (от 20—30 с до 5—15 мин).

Получение в керамических формах отливок из цветных сплавов имеет преимущества по сравнению с литьем черных сплавов: большая размерная точность, лучшее качество поверхности, хорошая воспроизводимость деталей, повышенная плотность, возможность получения отливок с небольшой толщиной стенок на большой длине.

Литье в керамические формы по постоянным моделям применяют при литье модельных комплектов, штампов, металлических форм, кокилей для черных, цветных сплавов, стекольного и пластмассового производства, заготовок для энергетической, атомной промышленности, для аэронавтики и космонавтики.

Смеси для изготовления керамических форм по постоянным моделям содержат: огнеупорные материалы, связующие, катализаторы-гелеобразователи. Огнеупорные материалы должны иметь низкий коэффициент линейного расширения и быть инертными к металлу.

Основным связующим при литье в керамические формы являются гидролизованные растворы этилсиликатов, ЭТС-40, ЭТС-32, ЭТС-50. В ограниченном количестве применяются также связующие КС (солянокислый водный золь кремниевой кислоты) и АРК-1, АРК-2 (ацетоновые растворы кремниевой кислоты).

Для гидролиза этилсиликатов в воде используют растворители: этиловый спирт, ацетон, эфироальдегидную фракцию денатурированного спирта. Среди указанных растворителей этиловый спирт является предпочтительным с точки зрения токсичности, стоимости и технологичности.

В качестве гелеобразователей применяют: концентрированную соляную кислоту, водные 10—15 %-ные растворы NaOH и KOH, водный раствор NH_4OH, оксид магния, окись цинка, карбонат аммония, первичные амины, диамины, аминоспирты, этилдиамин, триэтаноламин и другие амины.

Для получения смеси на этилсиликатном связующем необходимого качества применяют огнеупорные наполнители в виде смеси порошков двух фракций: крупнозернистой и пылевидной с размером зерен соответственно 0,25—0,4 и менее 0,2 мм. Число фракций может быть и большим.

Приготовление суспензии заключается в механическом перемешивании жидких компонентов (связующих и растворов гелеобразователей) с наполнителем (огнеупорным материалом) до получения гомогенной массы. Перед заливкой на модельный комплект в суспензию вводят гелеобразователи с тщательным перемешиванием. Практически на одну часть связующего добавляют 2—5 частей огнеупорного материала.

Составы суспензий приведены в табл. 51.

Особенности технологии изготовления и заливки форм цветными сплавами. Процесс изготовления керамических форм по постоянным моделям включает:

приготовление суспензии из гидролизованного раствора этилсиликата и смеси огнеупорных материалов;

ввод гелеобразователя в суспензию и их перемешивание;

51. Составы суспензий [27]

Номер суспензии	Содержание, % (мас. доля)			Отношение жидкой и твердой фаз
	связующих	наполнителя	гелеобразователя	
1	ЭТС 40—53; этилового спирта 40; подкисленной воды 7	Пылевидного кварца 70; кварцевого песка 30	50 %-ного водного раствора триэтаноламина 3,5	33/67
2	ЭТС 40—50; этилового спирта 43; подкисленной воды 7	Пылевидного кварца 90; кварцевого песка 10	Оксида магния 0,03—2,0	29/71
3	ЭТС 40—75,7; этилового спирта 17,6; подкисленной воды 6,7	Силлиманита 100	Соляной кислоты в спиртовом растворе 3,5	44/56
4	ЭТС 40—40; этилового спирта 52; подкисленной воды 8	Шамота (муллита) 80; кальцинированной глины 20	Диэтилметиламина 0,2	20/80
5	ЭТС 40—50; денатурированного спирта 40; подкисленной воды 10	Пылевидного кварца 60; хромомагнезита 35; глиноземакорунда 5	Пиридина 0,05—0,2	25/75
6	ЭТС 40—46,5; этилового спирта 46,5; воды 6,2; кислоты 0,8	Цирконовой муки 50; цирконового песка 50	Гексаметилентетрамина 1,0	20/80
7	ЭТС 32—50; ацетона 40; подкисленной воды 10	Пылевидного кварца 40; кварцевого песка 60	50 %-ного водного раствора триэтаноламина 3—5	35/65
8	ЭТС 40—58; этилового спирта 42; подкисленной воды 5	Плавленого кварца 60; силиката циркона 39,5; оксида магния 0,5	25 %-ного ацетата аммония 1,0	25/75
9	ЭТС 40—57,5; этилового спирта 38; подкисленной воды 4,5	Цирконовой муки 50; силлиманита 25; муллита 25	Тринатрий фосфата 0,0—0,1; бикарбонат или карбонат натрия, амины (обработка наполнителя)	18/82

Продолжение табл. 51

Номер суспензии	Содержание, % (мас. доля)			Отношение жидкой и твердой фаз
	связующих	наполнителя	гелеобразователя	
10	ЭТС 40—45; этилового спирта 49,9; подкисленной воды 5,1	Пылевидного кварца 75; кварцевого песка 25	Окись магния 1,5—2,0	25/75
11	ЭТС 32—78; этилового спирта 12,6; подкисленной воды 9,4	Пылевидного кварца 70; кварцевого песка 30	15 %-ного раствора NaOH 5	25/75

Примечания: 1. Содержание гелеобразователя принято сверх 100 % массы суспензии.

2. Суспензии 1—3, 10, 11 применяют для алюминиевых и магниевых сплавов; суспензии 4—9 — для медных, никелевых и тугоплавких сплавов.

52. Составы разделительных смазок

Номер смазки	Компоненты	Содержание компонента, % (мас. доля)
1	Вода	45
	Мыло	17
	Машинное масло	35
	Парафин	4
2	Машинное масло	30
	Парафин	70
3	Вода	11
	Олифа	83,5
	Канифоль	5,5
4	Парафин	20
	Бензин	80
5	Трансформаторное масло	35
	Вазелиновое масло	15
	Желтый вазелин	50

Примечания: 1. Смазки 4 и 5 применяют при изготовлении керамических форм и стержней по алюминиевой оснастке.

2. Смазки 1 и 2 применяют по деревянной оснастке.

заливку суспензии в модельную оснастку;

извлечение формы или стержня после затвердевания суспензии из оснастки;

помещение формы в печь или пламя горелки для выгорания паров растворителей;

прокалку форм после выгорания паров растворителей;

прокаливание форм в течение 2—6 ч в печи при температуре 850—900 °С;

проставление стержней, сборку форм;

заливку металлом.

Оснастку перед заливкой суспензии необходимо предварительно покрыть разделительными смазками (табл. 52).

Керамические формы изготовляют двух видов: однослойные (монолитные или цельнокерамические) и комбинированные. В комбинированных керамических формах в качестве опорного слоя используют профилированные металлические рамы, опоки или жидкостекольные наполнители.

Этим способом изготовляют формы с использованием промежуточной модели (рис. 24). Для промежуточной модели используют дешевые огнеупорные смеси; размеры промежуточной модели больше основной, поэтому на используемую в качестве промежуточной рабочую модель наносят слой глины, резины или фетра. После удаления промежуточного слоя в зазор

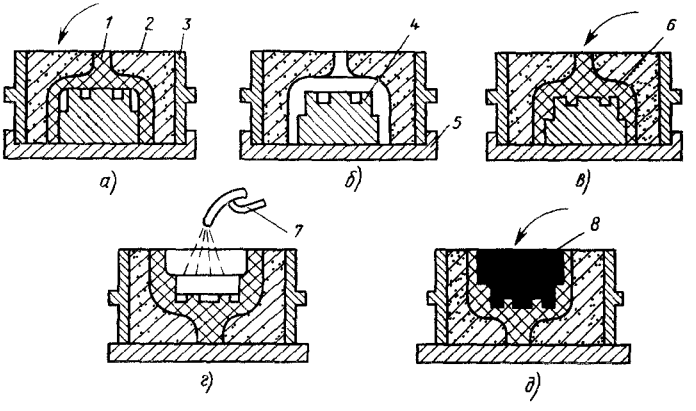


Рис. 24. Схема изготовления комбинированной формы:
а — заполнение опоки жидкостекольной смесью, *б* — форма с отвержденной смесью; *в* — заливка суспензии, *г* — удаление паров растворителя и прокаливание формы газовой горелкой; *д* — форма, залитая металлом, *1* — вспомогательная модель из эпоксидной смолы, *2* — жидкостекольная смесь, *3* — опока, *4* — основная модель, *5* — модельная плита, *6* — облицовочный слой из суспензии, *7* — газовая горелка, *8* — металл

между рабочей моделью и опорной формой заливают суспензию.

Особенностью керамических форм является образование мелкой сетки микротрещин на ее поверхности при выгорании растворителей, которые повышают ее технологические свойства (газопроницаемость, податливость и деформируемость) и практически не влияют на состояние поверхности будущих отливок.

Продолжительность отверждения керамики регулируется соотношением катализатора и связующего.

Режим тепловой обработки форм зависит от типа связующего.

Формы, изготовленные на связующих с органическими растворителями, немедленно поджигают, а затем прокаливают в печах при температуре 850—900 °С. Затвердевшие формы со связующим без органического растворителя можно выдерживать на воздухе неограниченное время, а затем обжигать.

При прокаливании форм газовой горелкой время прокаливания составляет 20—40 мин в зависимости от их размеров.

При прокаливании просушенных форм без опорного наполнителя их загружают в печь при 150—200 °С. При прокаливании в наполнителе формы загружают в печь при 300—400 °С с последующим нагревом до 850—900 °С, скорость нагрева 5—10 °С/мин, выдержка при 850—900 °С около 1 ч.

Керамические формы можно заливать без прокаливания на центробежных машинах

Разновидности этого способа литья (табл 53) основаны на Шоу-процессе, отличаются новыми технологическими процессами и материалами, снижающими себестоимость отливок

Технологическое оборудование. Для изготовления керамических форм и стержней обычно используют оборудование, предназначенное для других видов точного литья. В отдельных случаях специальное оборудование проектируют и изготовляют сами предприятия, имеющие участки литья в керамические формы

Специфические виды дефектов при литье в керамические формы по постоянным моделям приведены в табл. 54.

7. Литье в гипсовые формы

Общие положения. Литье в гипсовые формы применяют в основном для изготовления отливок сложной конфигу-

53. Разновидности процесса литья в керамические формы по постоянным моделям

Технологический процесс изготовления форм	Особенности процесса
Шоу-процесс	Для получения смеси на ЭТС применяют огнеупорные наполнители в виде смеси порошков двух или более фракций: крупнозернистую и пылевидную с размером зерен соответственно 0,25—0,4 и меньше 0,2 мм. Связующие растворы и процесс их приготовления аналогичны используемым при литье по выплавляемым моделям (ЛВМ)
Юникатс-процесс	Отличается от Шоу-процесса тем, что форму после частичного отверждения обрызгивают жидким отвердителем из пульверизатора. Отвердитель состоит из соединений фосфора, алкилов и др.
Дин-процесс	Отличается от Шоу-процесса совмещением при твердении формы химических и физических методов. Суспензия заливается в модельную оснастку, расположенную в вакуумно-центробежной установке. Применяют для изготовления тонких и прочных форм и стержней
Керамикаст-процесс	Применяется для изготовления небольших керамических оболочек с использованием разъемных моделей из эластичного материала. Оболочка образуется в результате многократного окунания собранной модели в суспензию и последующей обсыпки огнеупорным порошком. После твердения оболочки модель поэлементно разбирают и извлекают
С сокращенным расходом ЭТС в керамической смеси	Взамен огнеупорного наполнителя применяют криолит, что позволяет использовать гидролизованный раствор этилсиликата (ГРЭС) с содержанием 6—14 % (мас. доля) SiO_2 вместо 14—20 %, принятых для обычных смесей, расход этилсиликата снижается почти в 2 раза при сохранении достаточно высокой прочности смеси
С использованием бессиликатного связующего	Вместо смесей на этилсиликатных связующих применяют смеси с водными связующими, пластичные и сыпучие смеси. В качестве водных связующих используют сернокислый титан, растворы солей Al, Fe, Cr и Zr. Приготовление керамической смеси на водных растворах солей металлов аналогично приготовлению смеси с гидролизованным раствором этилсиликата. Полученная керамическая форма подвергается нагреву до 930—960 °С, при этом улетучиваются вода и кислотные остатки

рации из алюминиевых, магниевых и медных сплавов в мелкосерийном и опытном производстве.

Из алюминиевых сплавов получают отливки с толщиной стенки 1—2 мм, массой 0,05—100 кг, диаметром 600—700 мм с четким оформлением граней и контура; из магниевых сплавов — тонкостенные отливки с толщиной стенки 1—2,5 мм при значительной (0,4—0,5 м) длине поверхности.

Литье медных сплавов в гипсовые формы применяют в том случае, если невозможно изготовить отливки в керамических формах вследствие их прогиба из-за значительных габаритных размеров (до 500 мм) и массы отливок (10—20 кг и более).

При получении крупногабаритных отливок из алюминиевых сплавов (длиной до 2,5—3,0 м) в гипсовых формах по постоянным моделям расход

54. Дефекты отливок при литье в керамические формы по постоянным моделям

Дефект	Причина образования	Меры предупреждения
Повышенная шероховатость поверхности	Плохая обработка рабочей поверхности оснастки	Рабочую поверхность модельной оснастки и эталонов для ее изготовления следует хорошо обработать (полировать, лакировать)
Заливы металла в виде гребешков, наплывов разнообразной формы	Трещины в форме из-за повышенного содержания жидкой фазы суспензии	Подобрать правильное соотношение между жидкой и твердой фазами суспензии Найти оптимальные количества и концентрацию гелеобразователя
	Образование трещин в форме из-за ее объемных изменений в форме при прокаливании и охлаждении	Соблюдать режим прокаливания, особенно комбинированных форм Подбирать составы облицовочных и наполнительных слоев формы с одинаковыми коэффициентами термического расширения
Пригар	Химическая активность металла и его окислов к материалу формы	Использовать формовочные материалы, химически инертные по отношению к заливаемому сплаву
	Перегрев металла при заливке форм	Соблюдать оптимальную температуру заливки сплава с учетом конфигурации отливки
Недолив	Пониженная жидкотекучесть металла	Соблюдать оптимальную температуру заливки металла; применять подогретые формы
Спаи	Дефекты литниковой системы	Изменить литниковую систему так, чтобы не было встречных потоков металла, и сократить время заполнения керамической формы
	Низкая температура формы	Заливку сложных отливок с тонкими стенками производить в горячие формы
Газовые раковины	Повышенная газотворность форм	Выдерживать режим прокаливания форм
	Повышенное газосодержание металла	Тщательно рафинировать металл

Продолжение табл. 54

Дефект	Причина образования	Меры предупреждения
Горячие и холодные трещины	Нетехнологичность конструкции отливки	Изменить конструкцию отливки: облегчить массивные узлы, выравнить толщины стенок, выполнить плавные переходы; галтели во внутренних углах, использовать выпоры и колодильники
	Недостаточная податливость керамической формы	Уменьшить количество связующих в суспензии, увеличить податливость формы
Нарушение геометрии отливок	Постоянное отклонение размера отливки вследствие дефекта модельной оснастки	Довести модельную оснастку по дефектному размеру с учетом всех объективных изменений керамической формы и металла

металла на литники и питатели минимален, выход годного составляет 70—80 %.

Температура заливки медных сплавов не превышает 1200 °С. Бронзы, содержащие более 5 % (мас. доля) свинца, заливают при более низких температурах, так как гипс взаимодействует со свинцом, в результате чего на поверхности отливок образуется тонкий налет окиси.

В качестве смесей используют широкораспространенные, дешевые материалы — гипс, песок, отходы асбеста и др.

Важное свойство гипсового формовочного материала — малая теплопроводность. Это позволяет создавать условия для направленного затвердевания отливок, имеющих толщину стенок менее 1 мм.

Хорошая текучесть смесей на основе гипса, гладкая после затвердевания поверхность и точность воспроизведения отпечатка дают возможность получать из этих смесей формы по любым сложным моделям. Изготовляют гипсовые формы по выплавляемым (восковым) и постоянным моделям.

Гипсоасбестовые смеси, содержащие до 30 % (мас. доля) асбеста, не рекомендуется применять для литья крупных отливок из алюминиевых сплавов, подвергаемых термообработке, так как в этом случае получают отливку с грубой структурой.

При литье медных и магниевых сплавов гипсовый формовочный материал не должен содержать влаги; при литье алюминиевых сплавов допускается содержание кристаллизационной влаги до 6 % (мас. доля).

Заполняемость гипсовых форм цветными сплавами значительно выше, чем песчаных. Это позволяет заливать формы при невысоких температурах нагрева (250—400 °С) и получать тонкостенные отливки.

Заливка жидким металлом, близким к затвердеванию, является одной из особенностей литья в гипсовые формы, позволяющая предупредить образования рыхлости, уменьшить расход металла на литники, устранить пористость в отливках и др.

Применение принудительных методов заливки гипсовых форм жидким металлом (центробежное литье, вакуумное и под низким давлением) дает дополнительную возможность до некоторой степени понижать температуру металла и формы при литье тонкостенных деталей и улучшать их качество.

55. Составы формовочных смесей на основе гипса

Номер смеси	Компонент	Содержание компонента, % (мас. доля)
1	Гипс	80
	Асбест	20
2	Гипс	40
	Песок	50
	Асбест	10
3	Гипс	30
	Песок	67
	Асбест	3
4	Гипс	30
	Песок	70
5	Гипс	30
	Кристобалит	70

Примечание. Смеси 1—3 применяют для алюминиевых и магниевых сплавов; 4 и 5 — для медных сплавов.

Смеси для изготовления форм. Для точного литья цветных металлов применяют строительный и высокопрочный гипс, получаемый автоклавным способом.

Составы смесей на основе гипса приведены в табл. 55.

Прочность гипсового формовочного материала зависит от количества воды, добавляемой для образования жидкой массы, специальных добавок, гранулометрического состава компонентов.

В высокопрочный гипс добавляют 35—45 % (мас. доля) воды для придания ему необходимой литейной консистенции; в строительный гипс — 60—70 % (мас. доля).

Сроки схватывания вяжущих компонентов: для высокопрочного гипса после добавления воды — через 3—4 мин — начало схватывания, окончание через 8—9 мин; для строительного гипса — начало схватывания через 6—10 мин, окончание через 10—25 мин.

Схватывание формовочной смеси замедляется введением 1—2 % (мас. доля от доли гипса) гашеной извести или борной кислоты — 1—1,5 %.

При введении в смесь органических присадок (сульфитно-спиртовая барда и мочевиноформальдегидные смолы), которые увеличивают их прочность, формы нельзя обрабатывать паром и сушить при температурах выше 200 °С.

Для увеличения прочности смеси, в случае прокладки форм при температурах 200—800 °С или обработке паром, в состав смеси вводят минеральные добавки (борную кислоту, портландцемент, кремнекислый натрий, каолин, тальк, асбест и др.). Портландцемент вводят [до 20 % (мас. доля)] взамен наполнителя, остальные добавки вводятся в количестве 1—3 % (мас. доля).

Подготовка формовочных материалов для сухой и жидкой гипсовой массы заключается в просеивании через сита, отв/см²: 900 для гипса; 177 для песка; 48 для асбеста.

Для получения более гладкой поверхности отливок асбест дополнительно сушат, размалывают в течение 3—4 ч в шаровой мельнице, а затем протирают через сито 900 отв/см².

При отливке деталей по постоянной модели рекомендуется применять смесь № 2, а по восковой — смесь № 3 (см. табл. 1).

Оснастка и оборудование. В качестве оснастки при изготовлении гипсовых форм и стержней используют модели (восковые или постоянные), модельные плиты, стержневые ящики, опоки, холодильники и специальные приспособления для удаления моделей из форм.

При литье в гипсовые формы восковые модели изготовляют из состава ПС 50-50. Более тугоплавкие составы применять не рекомендуется.

Восковые модели получают в гипсовых, стальных, алюминиевых, а также изготовленных из легкоплавких сплавов пресс-формах.

Постоянные модели и стержневые ящики изготовляют из латуни, стали, алюминиевых сплавов и дерева.

Деревянные модели применяют в том случае, когда к шероховатости по-

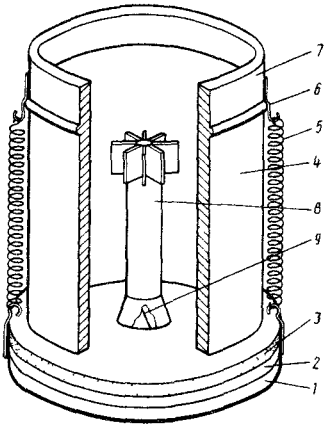


Рис. 25. Опока для изготовления гипсовой формы по восковой модели:
1 — свинцовая пластинка; *2* — фанерная подставка; *3* — губчатая резина; *4* — опока; *5* — пружина; *6* — крючки; *7* — резиновая надставка; *8* — восковая модель; *9* — металлический штырь

верхности и точности размеров отливок не предъявляют жестких требований. Изготовляют их из твердых пород дерева (ольхи, клена, и др.), покрывают лаком АК-20, сушат и полируют.

Для компенсации усадки металла и формовочного материала все размеры металлических моделей, а также шаблонов, по которым получают гипсовую оснастку, увеличивают на 1—1,5 %. При отливке деталей по восковым моделям для компенсации усадки металла, формовочного материала и воска все размеры оснастки увеличиваются на 1,5—2 %.

Наружные поверхности моделей выполняют без конусности или ее принимают равной 0,5—1°.

Опоки применяют литые алюминиевые или деревянные. Стенки литых опок должны быть наклонены под углом 75—80°. При отливке деталей центробежным способом используют круглые опоки: разъемные — при литье в гипсовые формы по постоянной модели и неразъемные (круглые) — при литье по восковой модели (рис. 25).

При литье в гипсовые формы применяют следующее оборудование: вибросита, смесители для приготовления сухой и жидкой формовочной массы, автоклавы для обработки форм паром, автоклавы для кристаллизации отливок давлением, установки для удаления воздуха из жидкой формовочной массы, установки для заливки форм методом вакуумного всасывания.

Изготовление форм по постоянным моделям. Гипсовые формы по постоянным моделям изготавливают безопочной формовкой. Чаще всего гипсовую форму изготовляют из двух половин.

Формовку проводят в такой последовательности: на модельную плиту устанавливают опоку, обтянутую резиной. Модель и опоку (внутри) смазывают разделительной смазкой, содержащей, % (мас. доля): стеарина 30 и керосина 70. Приготовленную гипсовую смесь, когда она начинает загустевать, заливают в нижнюю половину опоки с находящимися в ней моделями. После затвердевания смеси полученную половину формы зачищают, опоку переворачивают, устанавливают модели литников, питателей и стояка, накрывают нижнюю опоку верхней и наносят разделительную смесь.

После заливки гипсовой массы в опоку и ее затвердевания полученную вторую часть формы тоже зачищают, половины опоки разъединяют, извлекают модели и удаляют половины формы из опок.

Формы и стержни для отливки ответственных деталей обрабатывают паром при давлении 0,12—0,13 МПа в течение 6—8 ч, выдерживают 14 ч на воздухе, а затем отправляют на сушку или прокалку.

Изготовление форм по восковым моделям. Недостатком этого способа изготовления форм является приставание воздушных пузырей к модели в тех местах, в которых затруднен их выход из формовочной массы. В результате формы имеют раковины, а в отливках образуются шарообразные наплывы металла.

Удаление воздуха, как правило, осуществляют с помощью вибрации гипсовой массы сначала в сосуде, где ее приготовили, а затем из массы, залитой в опоку, под вакуумом на вибростоле. Остаточное давление вакууми-

рования 6,6 кПа, продолжительность вакуумирования и вибрации 10—12 мин.

Значительное количество пузырьков воздуха, приставших к восковой модели, удаляют окунанием модели несколько раз в загустевающую гипсовую смесь в опоке (модель предварительно обезжиривают спиртом). Затем модель погружают в опоку с гипсовой смесью и удерживают ее там до затвердевания массы (5—10 мин).

Последовательность операций при формовке: устанавливают опоку с поддоном и моделью на вибростол, включают вибростол и заливают в опоку гипсовую массу ковшом по стенкам опоки, не задевая модель. После заливки опоки выключают вибростол, выдерживают опоку до затвердевания гипсовой массы, снимают опоку и выдерживают на воздухе несколько часов или сутки, а затем выплавляют модель.

Выплавку моделей проводят с применением электрошкафов (температура 90—100 °С) или во влажной паровой камере (давление 0,12—0,13 МПа).

При выплавке модели во влажной паровой камере воск вытапливают почти полностью [90—97 % (мас. доля)], а в электрошкафах около 40—50 % (мас. доля) воска впитывается в гипсовую форму. После этого формы отправляют на прокалку.

При сборке форм и подготовке их к заливке выполняют следующие операции:

зачистку рабочей полости формы или стержня;

обдувку сжатым воздухом;

контроль зазоров между стержнями и формой калибрами;

закрепление стержней в форме (шпильки, гвозди или жидкое стекло);

установку верхней половины на нижнюю;

нанесение обмазки между половинками формы (асбест с жидким стеклом плотностью 1300—1400 кг/м^3), скрепление струбцинами;

нагрев собранных прокаленных холодных форм для отливки тонкостенных деталей и для высушивания обмазки;

укрепление литниковой надставки обмазкой к верхней половине формы, установка грузов.

Особенности заливки форм. При литье в гипсовые формы алюминиевых сплавов отливки массой 50—100 г получают при горизонтальной заливке. Тонкостенные отливки (1,5—2 мм) массой 50—200 г отливают в гипсовые формы, нагретые до температуры 300—500 °С, температура заливки сплавов АЛ2, АЛ9, АЛ4 составляет 630—640 °С. Те же отливки с толщиной стенки 3 мм отливают в формы, нагретые до 40—50 °С, температура заливки составляет 610—620 °С.

Мелкие отливки с кромками толщиной 0,3—0,4 мм отливают в автоклавах. Гипсовые формы нагревают до 150—200 °С, температура заливки сплавов 750 °С.

Отливки из алюминиевых сплавов с толщиной стенок 6—10 мм и массой 20—25 кг отливают в формы, нагретые до 80—100 °С; отливки с толщиной стенок (6÷12)—(20÷50) мм размерами 500×500 и более и массой 25—30 кг отливают в холодные гипсовые формы при температуре сплава 610—620 °С.

Крупные тонкостенные отливки длиной 3 мм из алюминиевых сплавов с развитой поверхностью заливают в гипсовые формы, нагретые до 200—250 °С, одновременно из 4—5 ковшей, температура заливки 720—750 °С.

Мелкие отливки из магниевых сплавов массой 50—60 г заливают в гипсовые формы, нагретые до 300—400 °С (температура заливки 720 °С); более массивные отливки — в гипсовые формы, нагретые до 80—100 °С (температура заливки 720 °С); тонкостенные отливки из магниевых сплавов массой 0,5—1,0 кг и длиной до 0,5 м — в гипсовые формы, нагретые до 450—500 °С. Массивные отливки из магниевых сплавов получают литьем в холодные гипсовые формы (температура заливки 710—720 °С).

Отливки из медных сплавов массой 20—25 кг, длиной до 500 мм (фланцы, рабочие колеса) заливают в холодные или подогретые до 80—100 °С гипсовые формы. Температуру заливки подбирают опытным путем в зависимости от марки сплавов.

Специфические виды дефектов при литье в гипсовые формы приведены в табл. 56.

56. Дефекты отливок при литье в гипсовые формы

Дефект	Причины образования	Меры предупреждения
Пористость и газовые раковины	Захват металлом воздуха, находящегося в форме при заливке	Правильно спроектировать литниковую систему
	Выделение газов, растворенных в металле	Тщательнее рафинировать и модифицировать металл
	Вспучивание нераспушенных волокон асбеста	Соблюдать технологический процесс приготовления формовочной смеси
	Выделение паров воды из недостаточно прокаленной формы	Соблюдать режимы прокаливания форм перед заливкой
Крупные наружные раковины	Кипение металла в форме из-за неполного удаления влаги из формовочного материала, низкой газопроницаемости форм; неполного сгорания воска в форме	Соблюдать режимы прокаливания форм, применять литниковые системы, обеспечивающие выход паров воды и газов
Незаливы (неслитины)	Неправильно спроектирована литниковая система	Изменить конструкцию литниковой питающей системы
	Недостаточная скорость заполнения формы металлом	Применять принудительные способы заполнения формы металлом
Засор формовочным материалом	Плохо очищена рабочая поверхность формы от попавших в нее песчинок; ручное вырезание литников	Изготовлять формы из гипсовой смеси, не содержащей песка; применять литниковую систему, где стояк ниже уровня воронки на 20—30 мм; литники формовать по модели
Загары магния и окисление отливок	Образование черных налетов окиси магния на поверхности отливок в результате его окисления	Припылить отверстие стояка смесью, содержащей, % (мас. доля): борной кислоты 50; порошкообразной серы 50
Некачественная поверхность	Недостаточная тонкость помола компонентов формовочного материала, наличие пустой породы в гипсе и асбесте	Применять облицовочную смесь, состоящую из компонентов более тонкого помола

8. Литье под низким давлением, с противодавлением и вакуумным всасыванием

Литьем под низким давлением изготовляют преимущественно отливки из алюминиевых и (в меньшей степени) медных сплавов. Отливки из магниевых сплавов этим методом не производят из-за их высокой склонности к окислению и низкой плотности, способствующей загрязнению отливок окислами и другими неметаллическими включениями при сифонной заливке из раздаточной печи.

Основные преимущества литья под низким давлением: большой выход годного (80—98 %), повышенная плотность отливок, высокий уровень автоматизации процесса.

Минимальная толщина стенок отливок, получаемых из алюминиевых сплавов, равна 1,5 мм, оптимальная толщина — 6—10 мм; для медных сплавов минимальная толщина — 3,0 мм, оптимальная — 8—12 мм. Литьем под

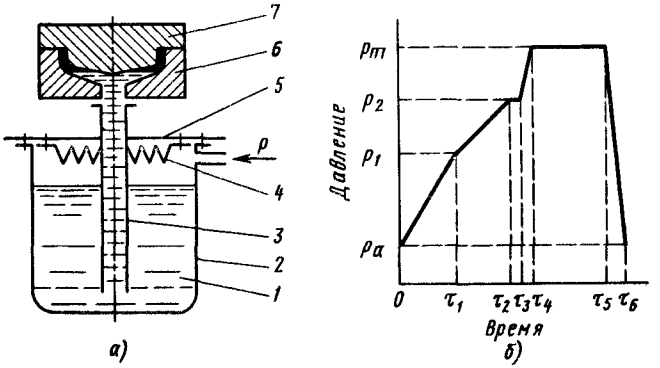


Рис. 26. Схема литья под низким давлением (*а*) и программа изменения давления газа в раздаточной печи литейной машины (*б*):

1 — жидкий металл; *2* — раздаточная печь; *3* — металлопровод; *4* — нагреватель; *5* — крышка печи; *6* — нижняя половина формы; *7* — верхняя половина формы; τ_1, τ_1 — τ_2, τ_2 — τ_3, τ_3 — τ_4, τ_4 — τ_5 и τ_5 — τ_6 — время соответственно движения металла по металлопроводу, заполнения литейной формы, выдержки металла при низком давлении, нарастании давления подпрессовки, выдержки отливки под давлением подпрессовки и снижения давления до атмосферного

низким давлением изготовляют отливки, подвергаемые испытаниям на герметичность, сложной конфигурации с тонкими и толстыми стенками, крупногабаритные с несколькими массивными тепловыми узлами. Для литья применяют алюминиевые (АЛ2, АЛ9, АЛ4, АЛ5, АЛ23, АЛ32, АЛ27, АА34; ВАЛ10) и медные (БрО6Ц6С3, БрО10С10, БрСу5Ф1, ЛЦ16К4) сплавы.

Литье под низким давлением состоит в вытеснении газом жидкого металла из раздаточной печи в литейную форму (рис. 26, *а*) с регулированием давления сжатого газа по программе, представленной на рис. 26, *б*. Помимо принудительного заполнения литейной формы, позволяющего получать крупногабаритные тонкостенные детали, в этом методе литья эффективно используют питание затвердевающей отливки жидким металлом из естественной прибыли — металлопровода. Последнее возможно при организации направленного теплоотвода и затвердевании отливки сверху вниз. Регулирование динамики потока металла осуществляют изменением давления сжатого газа в герметичной раздаточной печи, поэтому необходимость в сложных литниковых системах отпадает, но возрастает значение температурных режимов литья и в особенности — тепловых режимов работы пресс-формы и верхней части металлопровода. Кроме того, значительно возрастает объем вытесняемого из формы воздуха за счет полости металлопровода, что вынуждает особое внимание уделять вентиляции литейной формы.

Основными параметрами, определяющими технологический процесс литья под низким давлением, являются: допустимая скорость движения металла в полости формы, скорость изменения давления газа в раздаточной печи, максимальное давление газа в раздаточной печи, размеры элементов литниково-вентиляционной системы, температура сплава при заливке, температура формы, состав и качество наносимого на поверхность формы покрытия, длительность затвердевания и охлаждения отливки в форме.

Гидродинамический режим заливки при литье под низким давлением зависит от скорости изменения давления сжатого газа в раздаточной печи литейной машины. В первом приближении можно принять, что скорость подъема уровня металла в литейной форме линейно зависит от скорости изменения давления газа:

$$v_м = kv_p,$$

где $v_м$ — скорость металла; k — коэффициент, зависящий от плотности сплава и геометрии отливки; v_p — скорость изменения давления газа.

Скорость заполнения формы металлом можно представить в виде двух слагаемых, одно из которых содержит гармоническую составляющую:

$$v_м = \frac{1}{\gamma} \Delta p \beta \exp\left[-\beta(\tau_1 + \tau)\right] - A \exp(-\alpha\tau) \sin(a\tau + \varphi), \quad (10)$$

где Δp — давление газа в печи; τ_1 — продолжительность заполнения металлопровода; A, α, a, φ — амплитуда, круговая частота, коэффициент затухания и начальная фаза колебаний скорости $v_м$; β — темп изменения давления газа; τ — текущее время процесса.

Большее значение второго члена уравнения (1) по сравнению с первым в отдельные моменты заливки означает наличие колебаний уровня сплава в форме и соответственно возможность появления дефектов отливок в виде неспаев и окисных плен. Амплитуда и коэффициент затухания колебаний уровня металла в форме зависят от местных потерь напора $\xi_{вх}$ на входе в металлопровод и форму (рис. 27). Имеется критическое значение соотношения площадей сечения полости формы $S_ф$ и металлопровода $S_{мет}$, ниже которого колебательность становится заметной и приводит к дефектам отливок. Расчеты показывают, что при $\xi_{вх} = 1{,}0$ (недиафрагмированный металлопровод) критическое значение $S_ф/S_{мет} = 0{,}75$, а при $\xi_{вх} = 6{,}0$ ($d_{мет} = 0{,}042$ м, $d_{диаф} = 0{,}035$ м) $S_ф/S_{мет} = 0{,}4$. Увеличение $\xi_{вх}$ от 1 до 6 при $S_ф/S_{мет} = 0{,}4$ приводит к устранению колебаний сплава.

При выборе размеров диафрагмы, устраняющей колебательность, пользуются справочными данными по расчетам гидравлических сопротивлений.

Необходимо учитывать, что относительное значение гармонической составляющей в (1) возрастает с увеличением плотности металла, поэтому колебательность особенно значительна при изготовлении отливок из медных сплавов. Для сглаживания колебательности может быть использовано

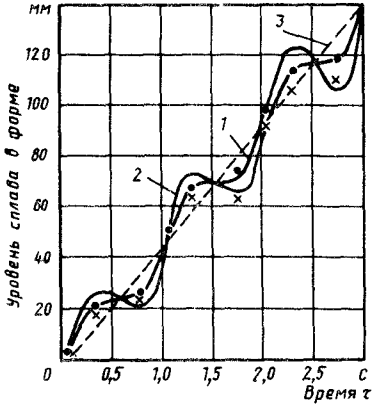


Рис. 27. Изменения уровня металла в форме при ее заполнении сплавом АЛ9 (для различных значений входного гидравлического сопротивления металлопровода):

1 — $\xi_{вх} = 1{,}0$; *2* — $\xi_{вх} = 6{,}0$; *3* — расчетное значение уровня металла, найденное по уравнению гидростатики: $h = \frac{1}{\gamma_м} \Delta p$

избыточное давление газа в полости формы, возникающее, в частности, при затрудненной вентиляции формы. Однако уменьшение давления, действующего на значение возникающего в форме противодавления, влечет за собой дефекты отливок другого рода — незаполняемости ребер, неточности размеров отливки и т. д.

Допустимую скорость подъема уровня металла в форме (или скорость движения потока металла в каком-либо критическом сечении отливки) рассчитывают, как и при литье в кокиль, из условий ламинарности потока, а в отдельных случаях — из условия допустимой высоты фонтанирования потока.

На практике $v_м = 0{,}01 \div 0{,}5$ м/с.

По мере заполнения форм уровень жидкого металла в раздаточной печи понижается, поэтому давления сжатого газа регулируют с момента достижения потоком металла заданного уровня в металлопроводе. Для регулирования используют специальный датчик — сигнализатор уровня. Ускоренный подъем металла в металлопроводе осу-

ществляют за счет постоянной скорости повышения давления газа в интервале значений 0,01—0,02 МПа/с.

Максимальное избыточное давление сжатого газа, при котором происходит питание затвердевающей отливки, составляет 0,06—0,08 МПа. Этому значению давления соответствует большая часть прироста плотности отливок. При заливке разовых форм (песчаных, оболочковых, керамических), а также кокилей с песчаными стержнями во избежание пригара давление не повышают более чем на 0,01 МПа сверх давления, необходимого для заполнения формы металлом. Иногда используют задержку прироста давления газа в момент заполнения формы на 3—5 с, что способствует образованию поверхностной кромки металла, предотвращающей пригар.

Необходимо также ограничивать скорость уменьшения давления сжатого газа в раздаточной печи до атмосферного в конце литейного цикла, так как интенсивный сброс давления приводит к перемешиванию металла и вымыванию футеровки у входа в металлопровод. Эта скорость обычно составляет (0,001—0,01) МПа/с.

Длительность выдержки отливки под давлением определяют временем ее затвердевания. В простейшем случае время затвердевания может быть определено по зависимости

$$\tau_з = \frac{1}{k^2} R_o^2,$$

где k — коэффициент затвердевания, $м/с^{1/2}$; R_o — приведенная толщина стенки отливки, м.

При литье под низким давлением, как и при литье в кокиль, важное значение имеет выбор места и способа подвода металла к отливке, выбор положения отливки в форме, размеры литниково-питающей и вентиляционной системы, тепловые режимы литья, состав и качество нанесения теплозащитных покрытий.

Металлопровод и литниковая система играют роль прибыли, находящейся под избыточным давлением, поэтому массивные толстостенные части отливки лучше располагать в нижней половине формы; литники выбирают короткими и массивными с толщиной

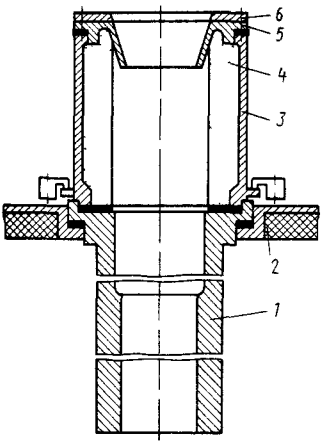


Рис. 28. Рекомендуемая конструкция металлопровода для литья под низким давлением алюминиевых сплавов:

1 — литая чугунная труба; *2* — футеровка крышки печи, *3* — стальной стакан, *4* — футеровка стакана; *5* — литниковая воронка; *6* — асбестовая прокладка

стенки, равной или большей толщины стенки отливки. Плавное заполнение формы с минимальным фонтанированием обеспечивается при соблюдении следующих условий:

$$0{,}5 \leqslant S_{пит}/S_{мет} \leqslant 6;$$

$$0{,}5 \leqslant S_ф/S_{пит} \leqslant 6,$$

где $S_ф$, $S_{мет}$ и $S_{пит}$ — площадь соответственно поперечного сечения формы металлопровода и питателей.

Вентиляцию литейной формы осуществляют теми же способами, что и при литье в кокиль, но суммарная площадь сечения вентиляции должна быть в 2—3 раза больше, а зазоры не должны превышать 0,15 мм.

Особое внимание при литье под низким давлением уделяют конструкции металлопровода (рис 28) Металлопровод представляет собой литую трубу из хромоалюминиевого чугуна, обработанную только по посадочному месту. Стыковка с формой металлопровода осуществляется через сменный футерованный стакан с тонкостенной литниковой воронкой в верхней части. Футеруют стакан прокаленным каолиновым волокном с высокоглино-

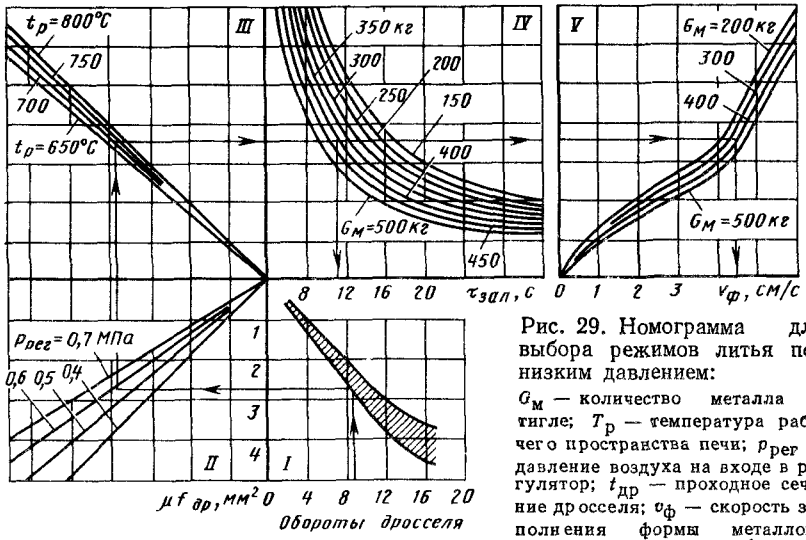


Рис. 29. Номограмма для выбора режимов литья под низким давлением:

$G_м$ — количество металла в тигле; $T_р$ — температура рабочего пространства печи; $p_{рег}$ — давление воздуха на входе в регулятор; $f_{др}$ — проходное сечение дросселя; $v_ф$ — скорость заполнения формы металлом; $t_{зал}$ — время заливки формы

земистым цементом в качестве связующего. Удовлетворительно работает футеровка на основе шамота или вставки из асботермосиликата. Тонкостенная металлическая воронка согласовывает размеры питателя и втулки, предохраняет от разрушения футеровки стакана и предотвращает намораживание металла с его стороны.

Температурные режимы литья сплавов и составы покрытий не отличаются от рекомендуемых для литья в кокиль.

Покрытия на основе мела используют для окрашивания тиглей и металлопроводов; на основе окиси цинка — формообразующих поверхностей кокилей; на основе асбеста — поверхностей литниково-питающей системы; на основе графита — стержней (поверх окиси цинка). Режимы литья по заданным параметрам литейной машины (давлению газа $p_{рег}$ на входе в регулятор, проходному сечению $f_{др}$ дросселя, массе $G_м$ и температуре металла в печи) могут быть определены по номограмме. Номограмма (рис. 29) позволяет определить требуемое время заливки $\tau_{зал}$ и скорость заполнения формы $v_ф$.

Литье под низким давлением медных сплавов имеет ряд особенностей, обусловленных повышенной температурой плавления этих сплавов и повышенной плотностью. В качестве раздаточно-плавильных агрегатов при литье медных сплавов чаще всего используют индукционные канальные и тигельные печи, уделяя особое внимание герметичности агрегата и конструкции металлопровода. Из-за повышенных температур заливки сплавов наиболее пригодны для металлопроводов неметаллические огнеупорные материалы, например графитошамотные трубы. Однако эти материалы газопроницаемы и хрупки. Оптимальной является конструкция металлопровода из двух графитошамотных труб, вставляемых друг в друга с кольцевым зазором, сообщающимся с атмосферой (рис. 30). В кольцевом зазоре давление уменьшается до атмосферного, что решает проблему газопроницаемости. Зазор может быть заполнен волокнистым газопроницаемым материалом и использован для рафинирования металла в печи продувкой через него азота.

Для изготовления отливок методом литья под низким давлением используют специальные литейные машины. В условиях мелкосерийного произ-

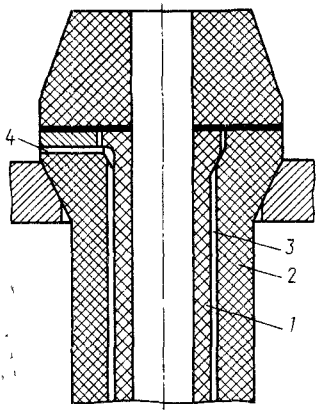


Рис. 30. Конструкция составного металлопровода для литья под низким давлением медных сплавов:

1 и *2* — графитошамотные трубы соответственно внутренняя и наружная; *3* — кольцевой зазор; *4* — выход в атмосферу

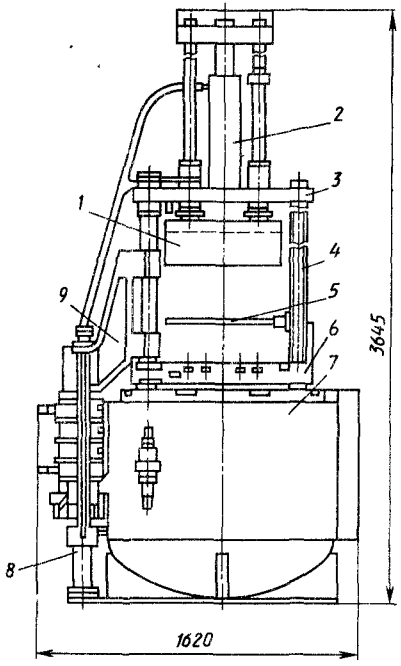


Рис. 31. Установка 83105 литья под низким давлением:

1 — подвижная плита-формодержатель; *2* — гидроцилиндр; *3* — верхняя неподвижная плита; *4* — направляющие колонны; *5* — съемник отливок; *6* — нижняя неподвижная плита; *7* — агрегат заливки; *8* — опорная колонна механизма поворота; *9* — кронштейн

водства применяют установку 83105 (рис. 31), предназначенную для изготовления отливок из алюминиевых сплавов преимущественно в пресс-формах с горизонтальным разъемом.

Основные технические характеристики установок литья под низким давлением приведены в табл. 57.

Применяют также установки литья под низким электромагнитным давлением. По сравнению с литьем под газовым давлением они имеют ряд преимуществ — не требуется герметичность печи и улучшаются условия регулирования тепловых режимов литья. На базе индукционной канальной печи емкостью 350 кг (по алюминию) разработана установка МДЛ-1А-0,25 (рис. 32), в которой металлопровод заменен футерованным патрубком, соединяющим канал индукционной печи с кокильным станком. Установка может быть использована для литья как алюминиевых, так и медных сплавов. Микропроцессорное управление позволяет изготовлять отливки в автоматическом режиме с оптимизацией тепловых режимов и энергетических затрат. Отливки из алюминиевых сплавов получают также с помощью погруженных электромагнитных насосов.

Литье с противодавлением сочетает в себе принципы литья под низким давлением и автоклавного. Схема литья с противодавлением приведена на рис. 33. Заливка литейной формы осуществляется в условиях всестороннего газового давления при снижении давления газа в полости формы по заданной программе. Наиболее эффективен этот метод литья для изготовления толстостенных отливок с массивными рассредоточенными тепловыми узлами. Рекомендуемая толщина стенки отливки 10—30 мм.

57. Технические характеристики машин литья под низким давлением

Параметр	Модель машины		
	83105	АЛУГ-2	АЛУГ-3
Размеры рабочего места на плитах для крепления частей кокиля, мм	630×500	800×630	1250×1000
Наименьшее расстояние между плитами, мм	300	500	300
Ход верхней плиты, мм	500	630	700
Усилия, кН:			
смыкания полуформ	100	60	82
раскрытия полуформ	150	60	120
выталкивания отливки	—	20	350
Наибольшая вместимость агрегата заливки (для алюминия), кг	150	320	300
Установленная мощность, кВт	30	35	38

Основными технологическими параметрами литья с противодавлением являются: абсолютное исходное значение давления газа в камере печи и полости формы; скорость изменения разности давления газа в раздаточной печи и полости формы; максимальное значение разности этих давлений; температура формы и металла при заливке; состав и качество покрытия, наносимого на рабочую поверхность металлической формы.

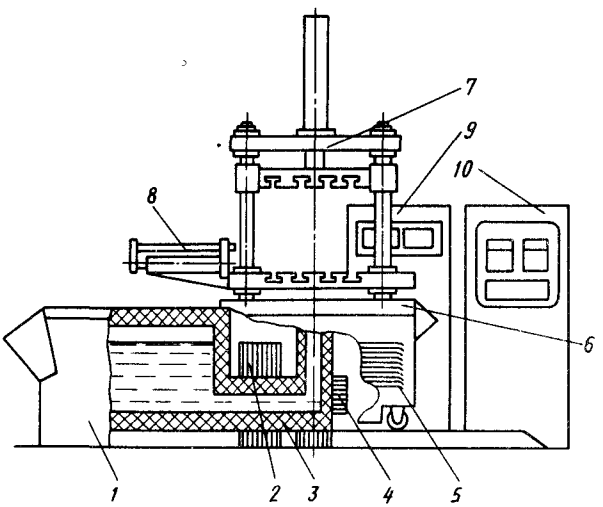


Рис. 32. Схема установки МДЛ-1А-0,25 литья под электромагнитным давлением:

1 — индукционная канальная печь; *2* — индуктор; *3* — отъемный канал; *4* — электромагнит; *5* — подвижный кокильный станок; *6* — верхняя неподвижная плита кокильного станка; *7* — съемник отливок; *8* — привод подвижного кокиля; *9* и *10* — шкафы соответственно силового питания и управления

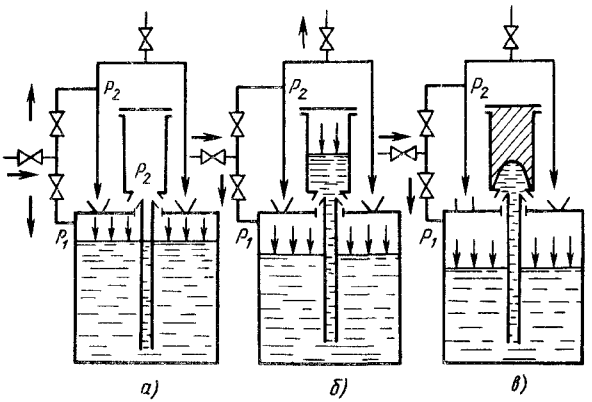


Рис. 33. Схема литья с противодавлением:
а — исходное положение перед началом заливки формы: $p_1 = p_2$; *б* — заполнение формы металлом; $p_1 > p_2$; *в* — затвердевание отливки под давлением; $p_1 - p_2 = \text{const}$

Исходное рабочее давление сжатого газа составляет обычно 0,4—0,6 МПа, что оптимально для получения плотных отливок. Разность давлений в камере печи и полости формы составляет 0,04—0,12 МПа (меньшие значения — для отливок, изготовленных с песчаными стержнями). Скорость изменения разности давлений в форме и печи определяет скорость заполнения формы жидким металлом:

$$v_м = k v_{\Delta p},$$

где $v_{\Delta p}$ — скорость изменения разности давлений, МПа/с; k — коэффициент, зависящий от плотности сплава, соотношения площадей поперечного сечения формы $S_ф$ и тигля с металлом $S_т$ и коэффициента μ расхода литниковой системы; определяется из уравнения

$$k = \frac{1}{\mu\gamma_м\left(1 + \frac{S_ф}{S_т}\right)},$$

где $\gamma_м$ — плотность сплава, кг/м³.

Коэффициент расхода ($\mu = 1/\sqrt{1+\xi}$) зависит от местных сопротивлений $\xi_м$, начения которых приведены ниже:

$S_ф/S_т$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$\xi_м$	81	64	49	36	25	16	9	4	1	0

Температурные режимы литья, а также состав, теплозащитные свойства, и способы нанесения покрытий на рабочие поверхности кокиля выбирают в соответствии с рекомендациями для литья под низким давлением. Технические характеристики машин литья с противодавлением производства НРБ приведены в табл. 58.

Литье вакуумным всасыванием по своей физической сущности близко к двум описанным выше методам литья. Вакуумным всасыванием получают сложные тонкостенные отливки с минимальным количеством тепловых узлов, а также слитки и полые изделия типа втулок из алюминиевых и медных сплавов. Схема литья вакуумным всасыванием приведена на рис. 34. С помощью вакуумного насоса обеспечивается разрежение в ресивере. Электромагнитный клапан соединяет камеру с ресивером. С помощью дросселя регулируют скорость вакуумирования камеры. В результате перепада давлений под расплавом в тигле и в камере с формой происходит заполнение последней жидким металлом. Реле времени определяет длительность технологической выдержки, после чего клапан соединяет камеру с атмосферой. Форму разбирают и извлекают отливку.

58. Машины литья с противодавлением

Параметр	Модель машины		
	МЛП 630	МЛП 1000	МЛП 1600
Вместимость печи, кг (для алюминия)	500	900	900
Усилие запирания формы, кН	550	600	1900
Рабочее давление газа, МПа·10^{-2}		80—100	
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	5065×4678××3334	5980×5250××3905	6558×5225××4150
Масса, кг	9000	16 000	23 500

Важнейшими технологическими параметрами при литье вакуумным всасыванием являются: скорость вакуумирования формы, величина рабочего вакуума, глубина погружения носка кристаллизатора в жидкий металл (при литье слитков), длительность вакуумирования формы, температурные режимы литья.

Скорость вакуумирования формы определяет скорость заполнения последней жидким металлом (аналогично литью под низким давлением) и зависит от разрежения $\Delta p_р$ в ресивере и диаметра диафрагмы $D_д$ в дросселе:

$$\Delta p_к = \Delta p_р\,[1 - \exp(-\beta\tau)],$$

где $\Delta p_к$ и $\Delta p_р$ — разрежения соответственно в камере и ресивере, Па; β — коэффициент, зависящий от диаметра диафрагмы и разрежения в ресивере; τ — текущее время, с.

Для 10^{-3} мм $\leqslant D_д \leqslant 6\cdot10^{-3}$ мм и 0,027 МПа $\leqslant \Delta p_р \leqslant$ 0,665 МПа установлена зависимость

$$\beta = 62{,}1 D_д^{2{,}386} \Delta p_р^{-0{,}7}.$$

Минимальное разрежение, необходимое для заливки литейной формы при минимальном уровне металла в тигле печи, можно определить из уравнения гидростатики

$$\Delta p_к \leqslant \gamma_м H_{max},$$

где H_{max} — суммарная длина металлопровода и высота отливки.

Вакуумирование формы при литье вакуумным всасыванием осуществляется через вентиляционные каналы. Основой расчета вентиляционных каналов является уравнение расхода газа при его истечении через диафрагму

$$S_{вент} = 2{,}6 m_р \frac{\sqrt{T_к}}{\tau_з (p_к + p_р) \times} \times \sqrt{\varepsilon_1^{-1{,}45} - \varepsilon_1^{-1{,}73}},$$

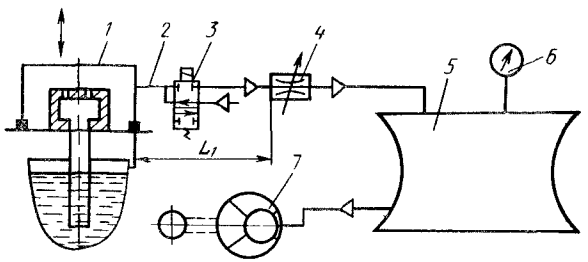


Рис. 34. Схема литья вакуумным всасыванием:

1 — вакуумная камера с формой; *2* — трубопровод; *3* — электромагнитный клапан; *4* — дроссель; *5* — ресивер; *6* — электроконтактный вакуумметр; *7* — вакуумный насос

где $m_г$ — масса газа, находящегося в полости формы перед началом всасывания, кг; $T_к$ — температура формы, °С; $\tau_з$ — время заливки формы, с; $p_к$ и $p_р$ — давления соответственно в форме и ресивере, Па; $\varepsilon_1 = p_р/p_к$.

Исходную глубину погружения кристаллизатора при литье слитков определяют из уравнения

$$h_п \geqslant H_о \frac{r^2}{R^2} + 10,$$

где $H_о$ — высота отливки, мм; r — внутренний радиус кристаллизатора, мм; R — радиус зеркала металла в тигле, мм.

Длительность вакуумирования формы определяется временем затвердевания отливки или временем намораживания твердого металла заданной толщины (при литье полых заготовок).

Время затвердевания отливки определяют по уравнению

$$\tau_з = \frac{R_о^2}{k^2},$$

где $R_о$ — приведенная толщина отливки, мм; k — коэффициент затвердевания, мм/с$^{1/2}$.

По сравнению с литьем в кокиль затвердевание при литье вакуумным всасыванием происходит быстрее: для сплава АЛ9 при кокильном литье $k \simeq 1{,}77$ мм/с$^{1/2}$, а при литье вакуумным всасыванием $k \simeq 2{,}39$ мм/с$^{1/2}$. Приведенную толщину отливки $R_о$ определяют из уравнения

$$R_о = \frac{\delta_{отл} b}{2(\delta_о + b)},$$

где $\delta_о$ — толщина стенки отли́вки в выбранном сечении, мм; b — ширина поперечного сечения полости формы в выбранном сечении отливки, мм.

В этом случае коэффициент затвердевания различен для различных сечений отливки. Продолжительность выдержки металла до слива из металлопровода определяют тогда по формуле

$$\tau_{сл} = \frac{k_н^2}{R_н^2},$$

где $k_н$ — коэффициент затвердевания для нижнего сечения отливки, мм/с$^{1/2}$; $R_н$ — приведенная толщина отливки в нижнем сечении, мм.

Для расчета конуса питания, необходимой для обеспечения направленного затвердевания отливки по ее высоте, используют коэффициент затвердевания в верхнем сечении отливки

$$\operatorname{tg}\alpha > \frac{k_в^2}{v_м \delta_в}, \qquad (11)$$

где α — необходимый уклон стенки отливки; $k_в$ — коэффициент затвердевания для верхнего сечения отливки, мм/с$^{1/2}$; $v_м$ — скорость движения металла в форме, мм/с; $\delta_в$ — толщина стенки отливки в верхней части, мм.

При заданном α по (11) можно определить скорость заливки, предотвращающую усадочные дефекты без применения верхних прибылей.

Оборудование для литья вакуумным всасыванием разрабатывают по специальным заказам. На Челябинском тракторном заводе для литья колес компрессоров из алюминиевого сплава используют установку (рис. 35), характеристика которой приведена

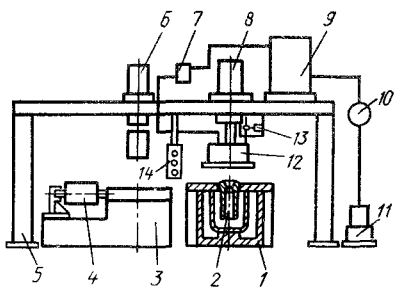


Рис. 35. Установка для литья вакуумным всасыванием колес компрессоров:
1 — печь; *2* — металлопровод; *3* — стол; *4* — пневмоцилиндр; *5* — колонна; *6* — пневмоцилиндр прижатия формы; *7* — клапан; *8* — пневмоцилиндр прижатия камеры; *9* — ресивер; *10* — электроконтактный вакуумметр; *11* — вакуумный насос; *12* — вакуумная камера; *13* — конечный выключатель; *14* — пульт управления

59. Дефекты отливок при литье под низким давлением, с противодавлением и вакуумным всасыванием

Дефект	Причины образования	Меры предупреждения и устранения
Газовые раковины и пористость	Негерметичность металлопровода	Заменить металлопровод
	Малое количество сплава в печи	Пополнить печь сплавом
	Высокая скорость заливки	Отрегулировать скорость заливки
	Сырой песчаный стержень	Проверить качество сушки стержней
	Плохое качество рафинирования сплава	Соблюдать режимы рафинирования
Усадочные раковины и пористость	Не обеспечивается направленность затвердевания	Доработать литниковую систему и улучшить технологичность конструкции отливки
	Местный перегрев формы или стержня	Обеспечить равномерность нагрева формы и охлаждение стержня
Заливы по разъему формы	Коробление формы из-за неравномерности прогрева	Улучшить конструкцию формы
	Повышенная температура формы	Уменьшить темп работы
	Высокая скорость заливки	Отрегулировать скорость заливки
Пригар	Повышенное давление газа в печи; малая плотность поверхности стержня	Отрегулировать режимы окраски стержня и режимы литья
Неметаллические включения в отливке	Некачественное рафинирование сплава; большие скорости сброса давления в конце цикла	Отрегулировать режимы литья
	Малое количество сплава в печи	Пополнить печь металлом
	Высокая осыпаемость стержня	Проверить качество стержней
Коробление отливок	Недостаточное время выдержки в форме; неисправность кокиля	Выдержать время охлаждения Осмотреть кокиль

ниже:

Производительность, число отливок в час	30
Регулируемое разрежение, МПа	0,04—0,08
Диаметр камеры, мм	300
Мощность печи, кВт	18
Габаритные размеры, мм	3400×2600×2100
Масса, кг	2450

Дефекты отливок, возникающие при литье под низким давлением, с противодавлением и вакуумным всасыванием, приведены в табл. 59.

9. Литье выжиманием и погружением

Литьем выжиманием изготовляют отливки панельного и оболочкового типов с толщиной стенки 1,5—3,0 мм и размером более 2000 мм из алюминие-

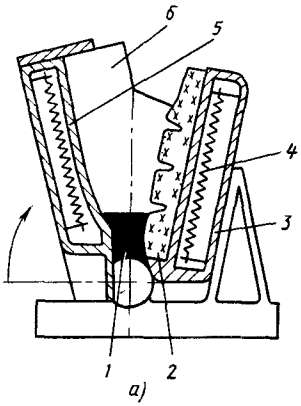
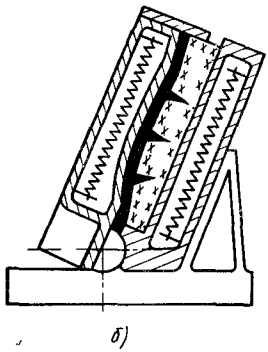


Рис. 36. Схема литья выжиманием методом углового сближения полуформ:

а — исходное положение; *б* — после выжимания; *1* — жидкий металл; *2* — песчаный стержень; *3* — неподвижная половина формы; *4* — нагреватели; *5* — подвижная половина формы; *6* — боковая щека



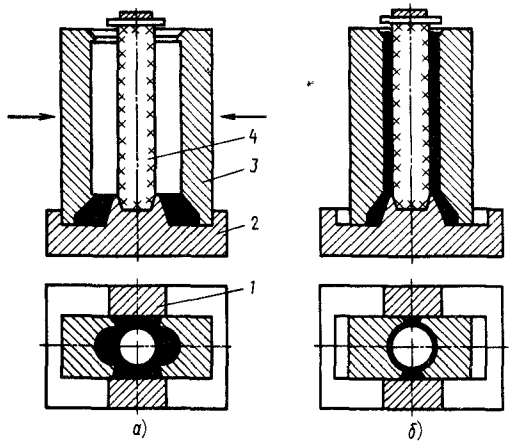


Рис. 37. Схема литья выжиманием методом плоскопараллельного сближения полуформ:

а — исходное положение; *б* — после выжимания; *1* — боковая щека; *2* — основание; *3* — половина формы; *4* — песчаный стержень

вых сплавов АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛЧМ, АЛ34, АЛ23-1.

Крупногабаритные отливки из магниевых сплавов литьем выжиманием не изготовляют из-за склонности этих сплавов к окислению и образованию микрорыхлот. Выход годного при изготовлении панельных отливок составляет 25—30 %, а при изготовлении оболочковых 30—50 %. Особенностью процесса является заполнение формы сплошным потоком изменяющегося во времени площадью сечения, превышающей до момента заполнения формы площадь сечения отливки. Второй особенностью является затвердевание отливки в процессе движения металла в форме, а формирование отливки заканчивается при соединении намороженных на стенках подвижной и неподвижной полуформ корочек металла и выжимании излишка металла в промывник. Зона соединения корочек металла является наиболее дефектной частью отливки.

Процесс осуществляют двумя основными способами: поворотом полуформ вокруг неподвижной оси (рис. 36) или плоскопараллельным сближением полуформ (рис. 37). В первом случае (см. рис. 36) жидкий металл заливают в створ полуформ, одна из которых неподвижна и содержит песчаный стержень, оформляющий ребристую часть отливки; внутри полуформ смонтированы нагреватели. Боковые щеки предотвращают выливание металла из формы в процессе выжимания. При плоскопараллельном сближении могут быть подвижны обе полуформы.

Основными технологическими параметрами литья выжиманием являются

скорость перемещения подвижной полуформы, температура металла в начале выжимания, температура прессформы и толщина слоя теплозащитного покрытия на рабочей поверхности пресс-формы.

При плоскопараллельном выжимании скорость сближения полуформ определяют из соотношения

$$v = v_{доп}\frac{\delta_0^2}{HB}, \qquad (12)$$

где $v_{доп}$ — допустимая скорость подъема уровня металла в форме, м/с; δ_0 — толщина стенки отливки, мм; H — начальная высота уровня металла в металлоприемнике, мм; B — начальная ширина просвета между полуформами, мм.

При угловом сближении скорость поворота подвижной полуформы находят из выражения

$$\omega = v_{доп}\frac{2\varphi}{H}, \qquad (13)$$

где ω — угловая скорость поворота полуформы, рад/с; φ — начальный угол раскрытия полуформ, рад; H — начальная высота уровня металла в металлоприемнике (от оси поворота), м.

Допустимые значения скорости подъема уровня металла в литейной форме можно рассчитать из условия сохранения ламинарного режима движения жидкости в форме (практические значения составляют 0,3—0,7 м/с) или по допустимому времени заполнения формы металлом из условия намораживания твердой корки металла толщиной, равной половине толщины стенки отливки (обычно составляет 1—5 с). Для оценочного расчета допустимо использование закона квадратного корня для толщины затвердевшего слоя металла:

$$\delta_0 = 2k\sqrt{\tau}, \qquad (14)$$

где k — коэффициент затвердевания (табл. 60), мм/с$^{1/2}$; τ — время, с.

При литье выжиманием оболочковых отливок с различной толщиной стенки установлена связь между мгновенной скоростью течения расплава в головной части потока $v_г$, скоростью движения полуформы $v_п$, координатой

60. Коэффициенты затвердевания k различных сплавов

Сплавы	k, мм/с$^{1/2}$	Литейная форма
Цинковые	1,07—1,13	Стальной кокиль
Алюминиевые	1,2—1,32	Чугунный кокиль
Медные	0,69 1,58	Песчаная форма Чугунный кокиль
Титановые	1,2 0,63 0,85	Стальной кокиль Керамическая форма Графитовая форма

перемещения полуформы X относительно станины, плотностью расплавленного металла $\gamma_м$ и геометрическими параметрами формы:

$$v_г = \frac{v_п + \dfrac{0{,}5G_0}{BZ\gamma_м^2}\dfrac{\Delta\gamma_м}{\Delta\tau}}{\dfrac{X}{Z} + \dfrac{\pi\rho_c R_c + 0{,}5S}{BZ}}, \qquad (15)$$

где G_0 — масса отливки, кг; B — ширина полуформ, м; $\Delta\gamma_м$ — изменение плотности заливаемого металла при охлаждении потока, кг/м^3; Z — текущая координата (по высоте) головной части потока, м; R_c — текущий радиус серединной части отливки, м; S — текущая площадь технологических приливов по бокам отливки (по смоченному периметру), м^2; ρ_c — приведенная толщина стенки отливки, мм.

Для реализации требуемого закона изменения скорости сближения полуформ по формуле (15) устанавливают теоретический профиль копира, по которому движется толкатель, открывающий проходное сечение дросселя в системе регулирования расхода жидкости гидропривода литейной выжимной машины.

Температуру металла в начале выжимания принимают минимально возможной. Как правило, она не превышает температуру ликвидуса сплава более чем на 20—30 °С.

61. Технические характеристики литейно-выжимных машин

Параметр	Модель машины			
	ВЛ-1	ВЛ-5	ВЛ-10	ВЛ-30
Максимальные размеры отливки, мм	2100×1100	2100×1000	2100×1100	1000×600
Наименьшая толщина стенки отливки, мм	2,0		1,5	
Максимальное усилие выжимания, кН	68	270	300	150
Максимальный угол раскрытия полуформ, рад	0,5			
Продолжительность сближения полуформ, с	4—11	5—25	6—12	5—10
Вместимость металлоприемника (по алюминию), кг	70,0	100,0	70,0	
Мощность нагревателей металлоприемника, кВт	16,0	50,0	16,0	8,0
Установленная мощность, кВт	41,3	173,6	68,0	32,2
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	3240×2850×2120	4650×4060×2310	2600×2650×2500	2960×1685×1625
Масса, кг	9500	9000		6000

Рабочая температура металлоприемника при литье алюминиевых сплавов составляет 280—300 °С, а пресс-формы — 180—250 °С.

Технические характеристики оборудования, применяемого при литье выжиманием, приведены в табл. 61.

Оригинальный способ литья выжиманием разработан Ю. А. Карапиком. По этому способу (рис. 38) пуансоном выжимают жидкий металл из облицованной камеры в литейную форму, используя слой облицовки как естественный гидравлический затвор — достаточно пластичный для деформации и теплозащитный для предотвращения намораживания металла на стенках.

Этим способом можно изготовлять тонкостенные крупногабаритные отлив-

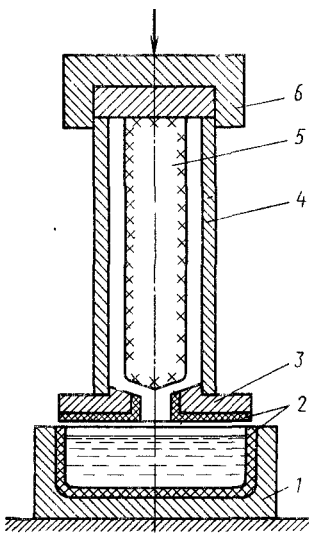


Рис. 38. Схема литья выжиманием с пластичным деформированием облицовочного покрытия:

1 — металлоприемник; *2* — облицовочное покрытие; *3* — основание формы с литниковым ходом; *4* — форма; *5* — стержень; *6* — пуансон

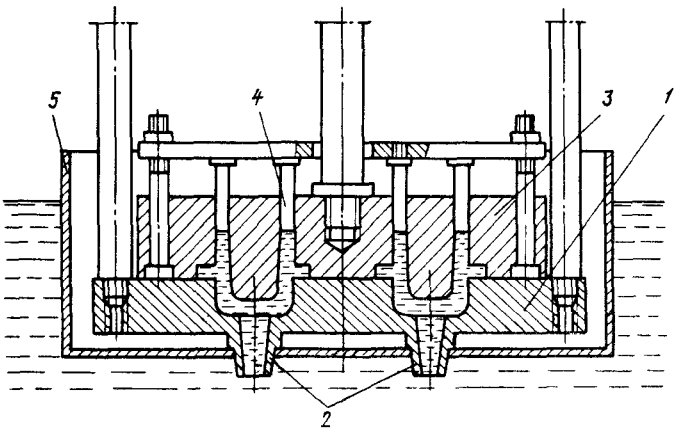


Рис. 39. Схема литья погружением:
1—нижняя половина формы; *2*—питатели; *3*—верхняя половина формы; *4*—толкатель; *5* — защитный кожух

62. Дефекты отливок при литье выжиманием и погружением

Дефект	Причина образования	Меры предупреждения
Трещины, разрывы в отливке, волнистость поверхности	Высокая скорость сближения полуформ при выжимании	Подобрать оптимальную скорость сближения полуформ
Рыхлоты и раковины возле тепловых узлов	Низкая температура металла при заливке	Повысить температуру металла при заливке и темп работы
Несоответствие размеров отливки требованиям чертежа	Низкая температура формы Неправильная сборка формы Малая скорость сближения полуформ в конце выжимания	Повысить температуру формы — —
Коробление отливки, усадочные трещины	Асимметричность конструкции отливки Неравномерность и затрудненность усадки Заливы между щеками и формой	Улучшить технологичность конструкции отливки Обеспечить равномерность прогрева формы Устранить причины образования заливов

ки из сплавов с высокой температурой плавления, в том числе из сталей.

Литье погружением используют для получения фасонных отливок из алюминиевых и медных сплавов. Сущность процесса (рис. 39) заключается в том, что специальная форма погружается до определенного уровня в жидкий металл, который через донные и боковые питатели заполняет полость литейной формы. Погруженная в металл форма до полного затвердевания отливки остается неподвижной, при этом питание отливки осуществляется непосредственно из ванны печи. Отливки получают в керамических, металлических и комбинированных формах. Керамические и комбинированные формы используют для изготовления отливок из медных сплавов, а металлические — из алюминиевых типа АЛ4, АЛ9 и АЛ25. Выход годного при этом способе литья составляет 85—90 %. Способ литья погружением особенно эффективен при изготовлении отливок с большим количеством тепловых узлов и неравномерной толщиной стенок.

Как и при других способах литья, при выборе гидродинамического режима заливки руководствуются допустимой скоростью заполнения формы металлом. Постоянный подогрев формы излучением от ванны металла создает требуемый для направленного затвердевания градиент температуры по высоте формы и позволяет заполнять форму с пониженной по сравнению с кокильным литьем скоростью. Для алюминиевых сплавов скорость погружения составляет 0,05—0,10 м/с. Температурные режимы литья и покрытия на рабочие поверхности металлической формы выбирают, как при кокильном литье.

Специфические дефекты отливок и методы их устранения при литье выжиманием и погружением приведены в табл. 62.

10. Литье с направленной кристаллизацией

Литье с направленной кристаллизацией используют для изготовления отливок, у которых один габаритный размер превосходит два других в несколько раз ($H/R > 10$), а также при наличии технического требования направленности структуры в отливке. При литье этим способом применяют алюминиевые сплавы типа АЛ9, оловянные бронзы 010С2Н3, магнитные сплавы типа ЮНДК и жаропрочные сплавы типа ЖС6. Направленная кристаллизация предполагает направленный теплоотвод, поэтому литейную форму, условия заливки и затвердевания отливки рассчитывают таким образом, чтобы теплоотвод был максимально интенсивным по требуемому направлению кристаллизации.

Существует три основных способа литья с направленной кристаллизацией. По первому способу, предложенному В. Д. Храмовым, последовательное направленное затвердевание отливок происходит в процессе заливки сплава при непрерывном подводе к фронту его затвердевания новых порций металла. Схема установки приведена на рис. 40. Полость формы щелевыми питателями толщиной 4—7 мм соединена со стояками, в которые опущены стальные трубки внутренним диаметром 12—16 мм. Жидкий металл заливают в литейную чашу, при этом стопоры-заглушки закрывают отверстия литниковых трубок. Литниковые трубки установлены так, что они не доходят до дна колодца формы на 20—25 мм. Литниковую чашу нагревают перед заливкой на 200—250 °С газовыми горелками, а литниковые трубки — до 500—800 °С электроконтактным способом. После заполнения литниковой чаши жидким металлом стопоры-заглушки вынимают и в момент, когда нижние концы трубок окажутся погруженными в металл на глубину 100—150 мм, форму начинают опускать с определенной скоростью.

Скорость опускания формы определяют из условия неразрывности потока жидкого металла:

$$v_{оп} = \frac{\mu S_{пит} n \sqrt{2gH_0}}{S_{ф}},$$

где $v_{оп}$ — скорость опускания формы, м/с; μ — коэффициент расхода (для стальных трубок диаметром 12—16 мм равен 0,6—0,8); $S_{пит}$ — площадь по-

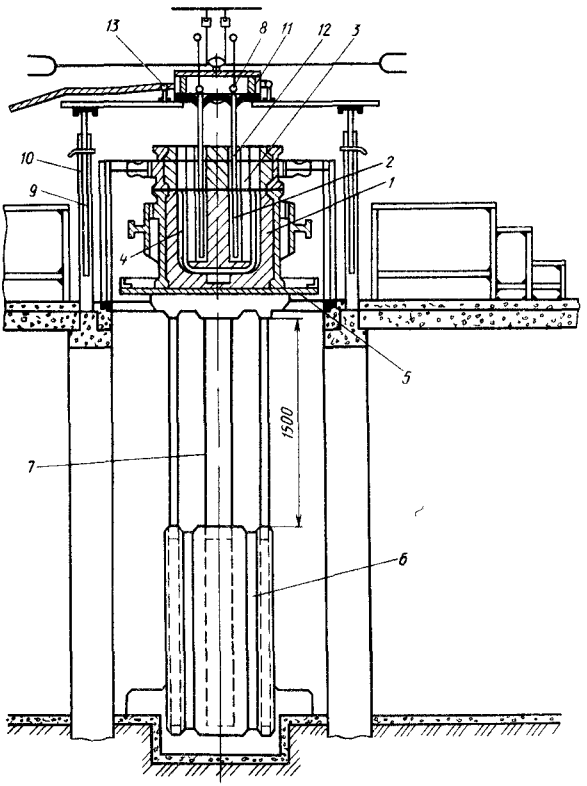


Рис. 40. Схема установки для литья методом последовательно направленной кристаллизации:

1 — литейная форма; *2* — вертикальный стояк-колодец; *3* — щелевой питатель; *4* — полость формы; *5* — стол; *6* — гидравлический подъемник; *7* — шток; *8* — стопор-заглушка; *9* — опора; *10* — направляющая труба; *11* — литниковая чаша; *12* — литниковая труба; *13* — газовая горелка

перечного сечения литниковой трубки, м²; n — число литниковых трубок; g — ускорение свободного падения, м/с²; H_0 — высота отливки, м; $S_ф$ — площадь поперечного сечения отливки, м².

Размеры поперечного сечения литниковой трубки определяют из условия магериального баланса в зоне затвердевания:

$$S_{пит} v_м n = S_ф \frac{1}{\sqrt{\tau}} k,$$

где $v_м$ — линейная скорость истечения металла из литниковой трубки, м/с;

$$S_{пит} = \frac{k}{\mu \sqrt{2gH_0 \tau_з}} S_ф,$$

где $\tau_з$ — время заполнения формы металлом, с.

Поскольку $H_0 = k\sqrt{\tau_з}$,

$$S_{пит} = \frac{k^2}{\mu H_0 \sqrt{2gH_0}},$$

где k — коэффициент затвердевания, м/с$^{1/2}$.

Способ В. Д. Храмова можно использовать для изготовления отливок

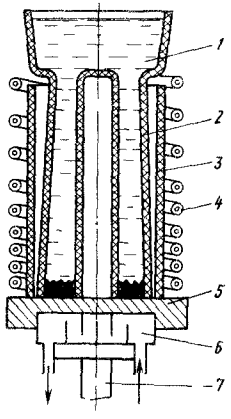


Рис. 41. Схема литья с нагревом формы и регулируемым перемещением кристаллизатора:

1 — литейная чаша; *2* — форма; *3* — графитовая вставка; *4* — индуктор; *5* — кристаллизатор; *6* — устройство охлаждения кристаллизатора; *7* — шток

в песчаных, оболочковых и гипсовых формах.

По второму способу литейную форму, нагретую выше температуры ликвидуса сплава, устанавливают на охлаждаемый поддон-кристаллизатор (рис. 41) и заливают перегретым сплавом. Форма при заливке находится внутри нагревающего устройства (индуктора). После небольшой технологической выдержки (3—5 с) форму опускают из зоны нагрева с определенной скоростью (3—50 мм/с) вместе с кристаллизатором. При этом в процессе затвердевания формируется направленная структура отливки.

Получение направленной структуры требует задания определенного градиента температуры у фронта затвердевания, обеспечивающего динамическую устойчивость поверхности раздела твердой и жидкой фаз. Плоский фронт кристаллизации устойчив при отсутствии концентрационного переохлаждения, что определяется условием:

$$\frac{T_{ж}}{v_{з}} \geqslant -\frac{\omega_{л} C_{т} (1 - k_{р})}{k_{р} D_{ж}},$$

где $T_{ж}$ — градиент температуры в жидкой фазе, °С/м; $v_{з}$ — скорость затвердевания, м/с; $\omega_{л}$ — тангенс угла наклона линии ликвидус сплава; $C_{т}$ — относительная концентрация второго компонента сплава в твердой фазе; $k_{р}$ — коэффициент распределения компонента, равный $k_{р} = C_{т}/C_{ж}$ ($C_{ж}$ — относительная концентрация второго компонента в жидкой фазе); $D_{ж}$ — коэффициент диффузии второго компонента в жидкой фазе.

Максимальная скорость затвердевания из условия теплового баланса на фронте затвердевания в предположении $T_{ж} \to 0$ равна

$$v_{max} = \frac{\lambda_{т} T_{т}}{\rho_{т} L},$$

где $\lambda_{т}$ — коэффициент теплопроводности твердого металла, Вт/м·°С; $T_{т}$ — градиент температуры в твердой фазе, °С/м; $\rho_{т}$ — плотность твердой фазы, кг/м³; L — удельная теплота кристаллизации, кДж/кг.

Возможности изменения градиента температур в жидкой фазе ограничены допустимым перегревом жидкого металла и условиями его конвекции в литейной форме, поэтому регулируемой величиной является скорость затвердевания, определяемая градиентом температуры в твердой фазе $T_{т}$. Таким образом, направленное затвердевание обеспечивается регулируемым направленным теплоотводом, наиболее интенсивным в направлении требуемого роста кристаллов и минимальным — в поперечном направлении.

Технологическая схема получения отливок с направленной структурой сводится к затвердеванию жидкого металла в литейной форме с резко отличающимися свойствами теплопроводности вдоль и поперек требуемого направления структуры, с регулированием градиента температур вдоль направления роста кристаллов.

Выклиниванию неориентированных вдоль требуемого направления кристаллов способствует замедленная скорость затвердевания в начальный момент процесса, что достигается замедленным движением кристаллизатора в начальный момент или буферной теплоизоляцией поверхности кристаллизатора. По достижении требуемой ориентации кристаллов скорость движения может быть увеличена, что

позволяет повысить производительность процесса. Наконец, на завершающем этапе скорость движения кристаллизатора вновь следует снизить, что уменьшает зону усадочных дефектов и способствует повышению коэффициента использования металла.

Этим методом получают литые заготовки из никелевых жаропрочных сплавов типа ЖС6, магнитных сплавов алнико и алюминиевого сплава АЛ9.

Отливки получают в автоматизированных проходных печах горизонтального типа при непрерывном перемещении форм через восходящий тепловой поток. Внутри печи поддерживают остаточное давление 0,001—0,062 Па, а загрузку форм и выгрузку отливок проводят через шлюзовые вакуумные затворы. Твердую шихтовую заготовку размещают в литейной чаше формы, где она расплавляется при нагреве формы в зоне нагрева и плавления печи.

Литые заготовки постоянных магнитов из сплавов типа ЮНДК25Т получают путем заливки металла в блок керамических трубок, объединенных литейной чашей. Блок перед заливкой нагревают до 1350—1400 °С и устанавливают на подвижный водоохлаждаемый поддон-кристаллизатор, опускающийся с регулируемой скоростью.

Фактически таким же способом получают отливки из алюминиевых сплавов в формах по выплавляемым моделям. Керамическую форму нагревают до 650—700 °С в трехсекционной печи сопротивления мощностью 15 кВт, заливают сплавом АЛ9 при температуре 680—720 °С и погружают в камеру с псевдокипящим электрокорундом 20, играющим роль кристаллизатора. Плотные герметичные отливки получают при положительном температурном градиенте по высоте отливки 0,24 °С/мм. Изготовление отливок из сплава АЛ9 этим способом позволяет по сравнению с литьем в керамическую форму без охлаждения низа формы повысить прочность на разрыв с 71,4 до 147 МПа, а относительное удлинение — с 3,4 до 6,4 %.

При третьем способе литья (рис. 42) с направленной кристаллизацией совмещают изложенные выше принципы литья по первому и второму способам, а именно: последовательная заливка формы сочетается с направленным теплоотводом от поверхности отливки. Стояк и щелевой питатель выполнены в стержне и вставке. Контурный нагреватель расположен на поплавке. При заливке формы жидким металлом одновременно с регулируемой скоростью подают в бак воду, при этом поплавок с нагревателем всплывает, следуя за фронтом жидкого металла в форме. Форму при получении отливок из алюминиевых сплавов перед заливкой необходимо нагревать до 550—600 °С, а скорость заливки должна превышать скорость подъема уровня

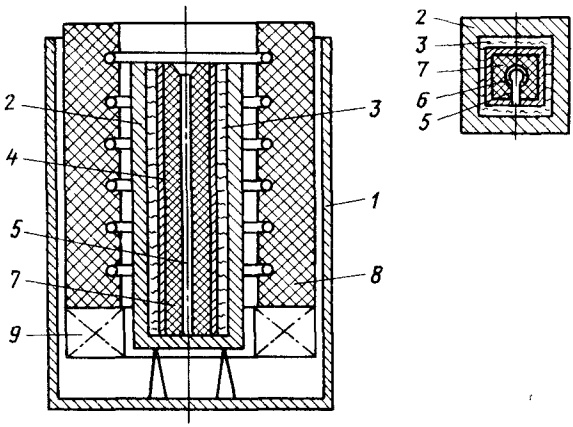


Рис. 42. Схема литья последовательной кристаллизацией с направленным теплоотводом:

1 — бак; *2* — форма; *3* — полость формы; *4* — стержень; *5* — щелевой питатель; *6* — стояк; *7* — вставка; *8* — контурный нагреватель; *9* — поплавок

63. Свойства сплава 0I0C2H3

Параметр образца	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
Образца-свидетеля	280—324	8—12	80—103
Поперек слитка	241—265	5—7	94—107
Вдоль слитка	246—273	5—7	94—107
После гомогенизационного отжига	265—310	6—10	95—104
По ТУ	250	5	75

воды в баке в 1,2—1,3 раза. С уменьшением толщины стенки отливки это превышение возрастает в 1,5—2,0 раза.

При получении отливок из бронзы БрО10С2Н3 начальную температуру нагрева формы повышают до 700—800 °С. В табл. 63 приведены данные о свойствах БрО10С2Н3 при литье с направленной кристаллизацией слитков диаметром 120 и высотой 180 мм в металлическую изложницу с чугунным вкладышем. Вкладыш изнутри покрывают теплоизоляционной обмазкой толщиной 0,5—0,8 мм.

Сведения о дефектах отливок при литье с направленной кристаллизацией приведены в табл. 64.

11. Центробежное литье и литье с кристаллизацией под давлением

Центробежным литьем получают литые заготовки, имеющие форму тел вращения: втулки, венцы червячных колес, барабаны для бумагоделательных машин, роторы электродвигателей, камеры сгорания реактивных двигателей космических аппаратов, деталей пусковых установок. В некоторых случаях метод центробежного литья является единственно возможным (бронзовые рубашки судовых валов).

Наибольшее применение центробежное литье находит при изготовлении втулок из медных сплавов, преимущественно оловянных бронз, и сложных фасонных отливок из литейных титановых сплавов типа ВТ5Л, ВТ9Л и др.

Втулки из медных сплавов получают в металлических изложницах, а отливки из титановых сплавов — в графитовых формах, полученных прессованием или по выплавляемым моделям. Венцы червячных колес из бронзы БрО10Ф1 получают в жидкостекольк-

64. Дефекты отливок при литье с направленной кристаллизацией

Наименование дефекта	Перечень образования	Меры предупреждения и сравнения
Осевая усадочная пористость	Большая скорость движения кристаллизатора Низкая температура заливки металла	Отрегулировать скорость движения кристаллизатора Повысить температуру заливки металла
Равноосная крупнозернистая структура отливки, большая протяженность зоны равноосных зерен	Низкая температура формы и низкая температура заливки металла	Повысить температурные режимы литья
Механический пригар; грубая шероховатая поверхность отливки	Высокая температура нагрева формы	Снизить температуру нагрева формы

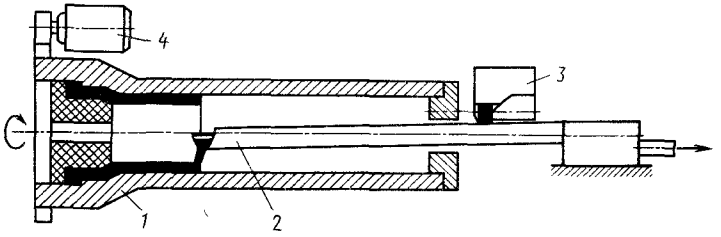


Рис. 43. Схема центробежного литья с горизонтальной осью вращения:
1 — изложница; *2* — подвижный желоб; *3* — дозатор; *4* — привод вращения изложницы

ных песчаных формах, а рабочие колеса центробежных насосов из бронзы БрО3Ц7С5Н1 — в металлических формах с песчаными стержнями.

Получение центробежным способом отливок из алюминиевых и магниевых сплавов вследствие их малой плотности и склонности к окислению затруднительно. Чаще всего применяют центробежное литье при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов АЛ2, АЛ4 и АЛ9.

По сравнению с литьем в неподвижные формы центробежное литье имеет ряд преимуществ: повышаются заполняемость формы, плотность и механические свойства отливок, выход годного. Однако для его реализации необходимо специальное оборудование; недостатки, присущие этому способу литья: неточность размеров свободных поверхностей отливок, повышенная склонность к ликвации компонентов сплава, повышенные требования к прочности литейных форм.

При разработке технологии центробежного литья необходимо, прежде всего, выбрать положение оси вращения и рассчитать скорость вращения формы.

Выбор расположения оси вращения определяется конфигурацией и габаритными размерами отливки, а также техническими требованиями к заготовке. В общем случае вращение вокруг горизонтальной оси рациональнее при изготовлении крупногабаритных деталей; вокруг вертикальной — для мелких фасонных отливок. На рис. 43 приведена схема центробежного литья трубной заготовки на машине с подвижным желобом (дозирование по массе), а на рис. 44 — схема центробежного литья на машине с вращением вокруг вертикальной оси (объемное дозирование при погружении носка приемной камеры в жидкий металл и центробежное рафинирование металла).

Скорость вращения рассчитывают из гидродинамических условий заполнения литейной формы и формирования свободной поверхности отливки, а также с учетом гравитационного коэффициента, определяющего режим затвердевания и представляющего собой отношение центробежной силы к силе тяжести:

$$k_{\text{г}} = 0{,}112\left(\frac{n}{100}\right)^2, \qquad (16)$$

где n — скорость вращения, об/мин.

Рекомендуемые значения гравитационного коэффициента при изготовлении отливок из различных сплавов

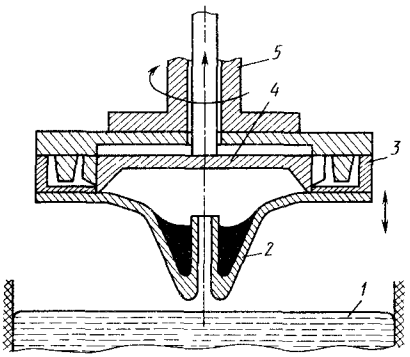


Рис. 44. Схема центробежного литья с вертикальной осью вращения:
1 — раздаточная печь; *2* — металлоприемник; *3* — литейная форма; *4* — отсекатель; *5* — привод планшайбы

65. Рекомендуемые значения гравитационного коэффициента $k_р$

Сплав	Условия заливки	$k_р$
Алюминий	В металлическую форму:	
	холодную	7—13
	нагретую	13—25
АЛ2 АЛ9	В нагретую металлическую форму	30—50 80—120

приведены в табл. 65.

При вращении вокруг вертикальной оси (изготовление втулок) скорость вращения рассчитывают с учетом разностенности по высоте отливки, возникающей за счет формирования свободной поверхности по параболоиду вращения:

$$\omega_в = c\sqrt{H_о}, \qquad (17)$$

где $\omega_в$ — скорость вращения формы, рад/с; c — коэффициент, зависящий от размеров и допустимой разностенности отливки (табл. 66), м$^{\frac{1}{2}}$·рад/с; $H_о$ — высота отливки, м.

На рис. 45 приведены схемы литья мелких втулок в изложницах на машинах с вертикальной и горизонтальной осями вращения. Изложницы содержат вкладыши, замена которых позволяет изготовлять втулки с диаметрами, мм: внутренним 20—100, наружным 40—120 и высотой 40—100 мм. Сравнительные свойства бронзовых втулок, полученных различными способами литья, приведены в табл. 67.

66. Расчетные значения коэффициента c в уравнении (17) для бронзовых втулок

Внутренний диаметр втулки, мм	c при допустимой разностенности по высоте отливки, мм		
	2,0	5,0	10,0
10	140,0	98,0	84,6
20	97,0	63,5	48,6
30	78,5	51,0	38,1
40	67,5	43,5	32,0
50	60,5	38,7	28,0
100	42,5	28,0	19,5
200	29,9	18,9	13,7
300	24,5	15,4	11,0
400	24,2	13,3	10,3
500	18,9	12,0	9,0

При вращении вокруг горизонтальной оси скорость вращения можно рас.

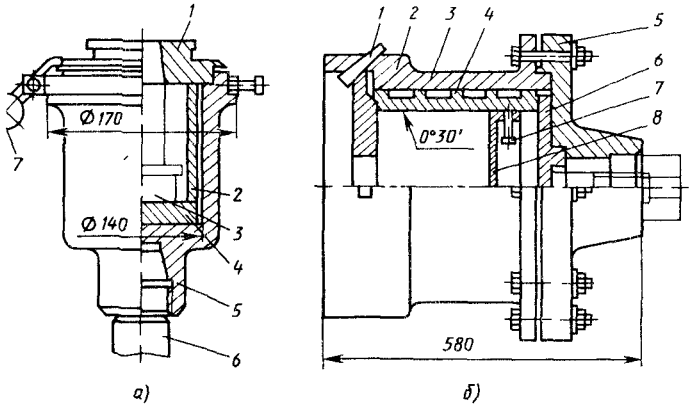


Рис. 45. Изложницы со смежными вкладышами для литья втулок:

а — при вертикальной оси вращения: *1* — крышка; *2* — вкладыш, *3* — торцовый вкладыш; *4* — графитовый диск; *5* — изложница, *6* — шпиндель, *7* — центробежный затвор; *б* — при горизонтальной оси вращения; *1* — клин; *2* — крышка; *3* — корпус изложницы; *4* — вкладыш, *5* — планшайба; *6* — поддон; *7* — винт; *8* — стенка

67. Механические свойства бронзовых втулок

Сплав	Механические свойства при литье					
	в песчаную форму		в кокиль		центробежным способом	
	$\sigma_в$, МПа	δ, %	$\sigma_в$, МПа	δ, %	$\sigma_в$, МПа	δ, %
БрО6Ц6С3	150—200	8—12	180—220	4—8	260—340	24—48
БрО10Ц2	200	10	200—250	2—10	220—320	11—12
БрО4Ц4С17	150	5	210—230	10—15	220—270	16—24
БрА9Ж4	580	12,3	300—500	10—20	580	34
БрО10С10	150	3	180	6	320	12

считать по соотношению, предложенному Л. С. Константиновым:

$$\omega_г = \frac{5520}{\sqrt{\gamma r_{вн}}}, \qquad (18)$$

где γ — плотность сплава, $\times 10^{-3}$, кг/тм^3 $r_{вн}$ — радиус внутренней поверхноси; отливки $\times 10^{-2}$, м.

Минимально допустимую скорость вращения, ниже которой возможно «дождевание» потока и нарушение его сплошности, определяют по формуле

$$\omega_{кр} = 9{,}6 \sqrt{\frac{g}{D}\left(7 - \frac{d^2}{D^2}\right)}, \qquad (19)$$

где d и D — диаметры соответственно свободной и наружной поверхностей отливки, м.

Оптимальную скорость вращения уточняют экспериментально.

Наиболее технологичны при центробежном литье сплавы эвтектического состава и типа твердых растворов, затвердевающие в узком интервале температур. Менее технологичны широкоинтервальные сплавы, склонные к образованию полосчатых структур и обратной ликвации (при эвтектическом и перитектическом окончании кристаллизации), а также сплавы с фазовым составом, различающимся по плотности отдельных фаз на 20 % и более. Эффективность центробежного рафинирования от неметаллических примесей понижается по мере снижения плотности сплава.

При центробежном литье широко используют различные технологические приемы, повышающие качество отливок: электромагнитное перемешивание, направленный теплоотвод, вакуумирование формы и литье в атмосфере инертного газа, дополнительное поршневое давление. Широко применяют центробежное литье медных сплавов под флюсом, обеспечивающим рафинирование металла и направленное затвердевание отливки. Составы рекомендуемых флюсов приведены в табл. 68.

Центробежное литье является преимущественным способом изготовления сложных фасонных отливок из титановых сплавов. Давление на форму при центробежном литье титановых сплавов не должно превышать 0,12 МПа, что ограничивает скорость вращения формы. Допустимую скорость вращения при заданной геометрии формы можно определить из уравнения

$$p_д = \gamma\left(\frac{\omega^2 R^2}{2g} + H_0\right), \qquad (20)$$

где $p_д$ — допустимое давление; ω — угловая скорость вращения; R — расстояние до наиболее удаленной от оси вращения поверхности отливки; H_0 — высота отливки.

Схема центробежного литья титанового сплава в керамическую форму, изготовленную по выплавляемым моделям, приведена на рис. 46. Расход металла при заливке форм зависит от толщин стенки и габаритных размеров отливки.

Рекомендуемые значения расхода металла для отливок с толщиной стенки 4—6 мм:

Наибольший размер отливки, мм	До 100	100—200	200—400	Св. 400
Расход металла, кг/с	0,5	1,0	3,0	6,0

68. Составы флюсов, рекомендуемых при центробежном литье медных сплавов

Номер флюса	Содержание компонентов, % (мас. доля)								Температура плавления, °С	Плотность, г/см³
	B_2O_3	NaF	$Na_2B_4O_7$	Na_3AlF_6	NaCl	CaF_2	Na_2O	SiO_2		
1	85,0	15,0	—	—	—	—	—	—	722	1,80—1,85
2	21,0	9,0	70,0	—	—	—	—	—	850	1,75—1,85
3	—	—	—	88,0	12,0	—	—	—	895	2,20—2,25
4	—	—	—	60,0	—	35,0	5,0	—	700	1,70—1,75
5	—	—	—	—	—	43,5	13,0	43,5	880	2,30—2,40

Для отливок с толщиной стенок менее 3 мм рекомендуемый расход металла увеличивают в 2 раза. По допустимому расходу можно определить размеры литникового хода и остальных элементов литниковой системы.

При центробежном литье труб из титановых сплавов используют параметр удельной массовой скорости заливки (отношение расхода массы сплава G_c к длине окружности внутреннего диаметра D изложницы). Предельная длина трубной заготовки логарифмически зависит от параметра $G_c/\pi D$:

$$l_{пр} = l_0 \exp\left(k_1 g_c/(\pi D)\right), \qquad (21)$$

где $k_1 = 0\ 19$; $l = 5{,}0$.

Начальная скорость продольного движения металла $v_н$ зависит от этого параметра линейно:

$$v_н = k_2 \frac{G_c}{\pi D}, \qquad (22)$$

где $k_2 = 0{,}034$.

Зависимости (21) и (22) действительны для значений параметра $G_c/(\pi D) = 9{,}0 \div 18{,}0$ кг/(с·м).

Заводы литейного машиностроения изготавливают три типа центробежных машин для литья из цветных металлов втулок и заготовок (табл. 69).

Литье с кристаллизацией под давлением объединяет такие способы литья, при которых давление используется как фактор эффективного воздействия на затвердевание и протекающие при этом процессы — усадку, газовыделение, трещинообразование, ликвацию.

Относительные перемещения жидкого металла в процессе формообразования отливки этими методами литья незначительны и оцениваются коэффициентом формообразования:

$$k_ф = \frac{V_м}{V_0}, \qquad (23)$$

где $V_м$ — объем вытесняемого при формообразовании металла; V_0 — объем отливки.

Методы литья с кристаллизацией под давлением обеспечивают высокую плотность отливок, близкую к плотности деформируемых заготовок, и достаточно однородную структуру. Возникающие при воздействии давления сжимающие напряжения снижают склонность к трещинообразованию и способствуют получению точных заготовок с малыми припусками на обработку резанием.

Этими методами литья изготовляют:

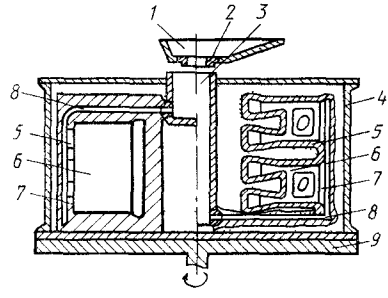


Рис. 46. Схема формы для центробежного литья титановых сплавов:

1 — металлоприемник; *2* — втулка; *3* — стояк; *4* — контейнер; *5* — металлосборник; *6* — отливка; *7* — питатель; *8* — литниковый ход; *9* — центробежный стол

69. Характеристики центробежных машин

Параметр	Модель машины		
	552-2	553-2	91111
Размеры отливок, мм:			
диаметр	80—200	200—320	60—450
длина	До 320	До 500	60—450
Частота вращения изложницы, об/мин	500—1250	500—900	30—2000
Усилие выталкивания отливки, кН		25	
Установленная мощность, кВт	28	36,2	44,07
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	2500×1895×1400	2820×2015×1510	4970×3450×2520
Масса, кг	3300	4000	14 000

стаканы, фланцы, шестерни, поршни, блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, вставки штампов и пресс-форм.

Литьем с кристаллизацией под давлением изготовляют отливки из алюминиевых сплавов: АЛ2, АЛ4, АЛ7, АЛ9, АЛ23-1; АЛ27-1, АЛ19, АЛ5, а также из медных сплавов: БрО10Ф1, БрА9Ж4, ЛЦ40Мц3А, ЛЦ40С, ЛЦ16К4, БрСу7Н2, БрА10Ж3Мц2, ЛЦ38Мц2С2 и др.

Прессование жидкого металла осуществляют по четырем основным схемам (табл. 70).

Коэффициент формообразования $k_Ф$

70. Классификация схем прессования при кристаллизации под давлением

Подгруппа	Группа (схема) 1 — Поршневое прессование	2 — Пуансонное прессование	3 — Пуансонно-поршневое прессование	4 — Прессование через питники питатели
1	11	21	31	41
2	12	22	32	42
3	13	23	33	43

71. Рекомендуемые давления прессования

Сплавы	Конфигурация отливки	Давление, МПа
Алюминиевые и цинковые	Простая	50,0—80,0
	Сложная	80,0—120,0
Медные	Простая	80,0—150,0
	Сложная	150,0—200,0

для схемы прессования *1* ($k_ф \approx 0$) минимален; для прессования по схеме *2* $k_ф = 0{,}1 \div 0{,}7$; по схеме *3* $k_ф = 0{,}1 \div 0{,}5$ и по схеме *4* $k_ф \approx 1{,}0$. Чем больше значение $k_ф$ и толще стенка, тем труднее получить плотную отливку.

К основным технологическим параметрам литья с кристаллизацией под давлением относятся номинальное давление прессования, скорость прессования, длительность выдержки отливки под давлением, температура металла и формы при прессовании, состав и качество нанесения покрытия на форму.

Наибольшие давления прессования характерны для поршневого и пуансонно-поршневого прессования. Оптимальное давление прессования зависит от конфигурации и толщины стенки отливки и применяемого сплава.

Рекомендуемые значения давления прессования приведены в табл. 71, где к отливкам простой конфигурации отнесены заготовки с площадью поперечного сечения, не превышающей площади пуансона, а к отливкам сложной конфигурации — превышающей площадь пуансона. Зная размеры отливки и рекомендуемое давление прессования, можно определить номинальное усилие прессования и по нему выбрать требуемый гидравлический пресс.

Потери давления при прессовании можно оценить по уравнению

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_т}{p} \left(1 + \frac{2H_0}{D}\right),$$

где $\sigma_т$ — предел текучести сплава при температуре прессования, МПа; p — давление прессования, МПа; H_0 и D — соответственно высота и диаметр отливки, м.

Потери давления уменьшаются с увеличением давления прессования, уменьшением высоты отливки и предела текучести сплава, а также при увеличении диаметра отливки. При литье с кристаллизацией под давлением оптимальным является $H_0/D \leqslant 1$, а допустимо $H_0/D \leqslant 3$.

Скорость прессования выбирают из условия сохранения ламинарного перемещения жидкого металла в форме: для мелких тонкостенных отливок скорость не превышает 0,2 м/с, а для массивных толстостенных — 0,1 м/с. Вихревое движение расплава в форме возникает при скорости прессования более 0,6 м/с.

Температурные режимы литья аналогичны режимам литья в кокиль, но возрастает опасность приваривания металла к матрице при нагреве пресс-формы более 400 °С. Для алюминиевых сплавов температура матрицы не должна превышать 300 °С, а для медных сплавов — 400 °С; рабочие температуры пуансона — соответственно 350 и 250 °С. Температура заливки жидких металлов при заливке в пресс-форму превышает температуру ликвидуса сплава на 50—150 °С.

Продолжительность технологических операций должна быть минимальна [особенно время заливки и выдержки металла в пресс-форме до момента начала прессования (табл. 72)].

При литье слитков из оловянных и сурьмяных бронз, имеющих большой интервал кристаллизации, продолжи-

72. Продолжительность выдержки металла в пресс-форме

Диаметр слитка, мм	Выдержка, с	
	до приложения давления	под давлением
50	5	60
60	6	70
70	8	90
90	10	120
100	12	130
125	15	150

73. Составы покрытий

Номер покрытия	Элемент пресс-формы	Компонент	Содержание компонента, % (мас. доля)
		Литье алюминиевых сплавов	
1	Пуансон	Графит	60
		Воск	30
		Масло машинное	10
2	Матрица	Коллоидный графит	20
		Жидкое стекло	3
		Вода	77
3	Пуансон и матрица	Графит	2
		Сажа	5
		Жидкое стекло	1
		Вода	92
4	Матрица	Графит	10
		Алюминиевая пудра	20
		Уайт-спирит	50
		Силиконовая жидкость	20
		Тальк	20
		Жидкое стекло	3
		Вода	77
		Литье медных сплавов	
5	Пуансон и матрица	Графит	5
		Масло минеральное	95
6	Разъемные матрицы	Графит	25
		Силиконовая жидкость	25
		Уайт-спирит	50
7	Пуансон и матрица	Графит	6
		Масло касторовое	94

74. Влияние давления прессования на прочность сплавов (по данным Т. Н. Липчина)

Металл или сплав	$\sigma_в$ сплава (МПа) при давлении прессования p, МПа					
	0	10	20	50	100	200
Zn (чистый)	55	60	65	68	75	77
ЦА4М1	200	225	235	245	250	265
Алюминий А-1	80	85	90	95	—	—
АЛ9	175	200	220	225	230	235
АЛ2	180	200	205	215	—	—
АЛ25	195	215	235	245	—	—
Mg (чистый)	140	160	170	185	—	—
МЛ5	190	210	225	230	230	235

тельность выдержки под давлением увеличивают на 50 % по сравнению с данными, приведенными в табл. 72. Для фасонных отливок можно использовать данные этой таблицы без изменений. Ориентировочно можно принимать, что на каждый 1 мм толщины стенки отливки необходима выдержка под давлением в течение 1,0—1,2 с.

Силовой характер взаимодействия пуансона и пресс-формы определяет высокие требования, предъявляемые к составу и качеству смазок и покрытий, наносимых на рабочие поверхности пресс-форм. Нанесение покрытий

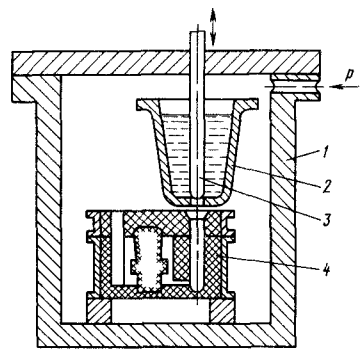


Рис. 47. Схема автоклавного литья: *1* — автоклав; *2* — ковш с металлом; *3* — стопор; *4* — литейная форма

75. Дефекты отливок при центробежном литье и кристаллизации под давлением

Дефект	Причина образования	Меры предупреждения и устранения
	Алюминиевые сплавы	
Мелкие спаи на поверхности отливки при центробежном литье	Низкая температура формы и металла	Повысить температуру металла и темп работы
Горячие трещины при центробежном литье	Высокое содержание вредных примесей в сплаве Затрудненная усадка отливки	Снизить содержание вредных примесей Улучшить технологичность конструкции отливки
Газоусадочные раковины и пористость при литье с кристаллизацией под давлением	Большая длительность выдержки металла до начала прессования Низкая температура металла и формы Малое давление прессования	Отрегулировать технологические режимы литья
Трещины при кристаллизации под давлением	Малое время выдержки до начала прессования Малая длительность прессования	Увеличить выдержку до начала прессования и при прессовании
Недоливы и неспаи при автоклавном литье	Низкая температура заливки металла	Повысить на 50—60 °С температуру заливки по сравнению с литьем в атмосферных условиях
	Медные сплавы	
Концентрированная усадочная раковина в подприбыльной зоне при автоклавном литье	Малый объем прибыли	Увеличить в 1,5 раза высоту прибыли по сравнению с литьем в атмосферных условиях
Несоответствие размеров отливки требованиям чертежа	Большая погрешность дозирования металла	Отрегулировать точность дозирования
Плены в наружных слоях втулок при центробежном литье	Замедленная заливка сплава Низкая температура заливки металла	Повысить температуру заливки сплава и скорость заливки

Продолжение табл. 75

Дефект	Причина образования	Меры предупреждения и устранения
Сквозные раковины у втулок из оловянных бронз при центробежном литье	Высокая температура изложницы Некачественное покрытие изложницы Низкое содержание цинка в сплаве	Снизить темп работы Проверить качество покрытия и химический состав сплава
Неслитины при жидкой штамповке	Большая скорость прессования Низкая температура металла	Снизить скорость прессования и повысить температуру формы Повысить температуру формы
Большая протяженность зоны столбчатых кристаллов при кристаллизации под давлением	Низкая температура прессования Высокая температура заливки сплава	Повысить температуру формы и снизить температуру заливки металла
Неметаллические включения в отливке	Плохое качество рафинирования сплава	Улучшить режим рафинирования сплава

выполняют с помощью пульверизатора или кистью. Рекомендуемые составы покрытий приведены в табл. 73.

Эффективность упрочнения сплавов при литье с кристаллизацией показана в табл. 74.

К литью с кристаллизацией под давлением следует отнести также метод автоклавного литья. Сущность метода заключается в создании повышенного давления в автоклаве, содержащем литейную форму, при ее заливке жидким металлом и в процессе затвердевания отливки (рис. 47). Избыточное давление составляет 0,4—2 МПа.

При автоклавном литье на 20—40 % снижается жидкоподвижность литейных сплавов и более интенсивно протекает затвердевание. Избыточное давление газа способствует повышению плотности и герметичности отливок за счет подавления рассеянной газоусадочной пористости, однако концентрированная усадочная раковина смещается в подприбыльную часть, что вынуждает увеличивать на 20—30 % высоту прибылей или применять экзотермические смеси для их обогрева. Этот метод литья используют, как правило, при изготовлении отливок в неметаллических формах.

Дефекты отливок при центробежном литье и кристаллизации под давлением приведены в табл. 75.

Глава IX

ФИНИШНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПО ОБРАБОТКЕ ОТЛИВОК

Выполнение финишных операций начинают сразу по окончании охлаждения отливки в форме и завершают их сдачей готовой отливки, отвечающей требованиям ТУ, в механический цех на дальнейшую обработку, на склад отливок или непосредственно заказчику.

При финишной обработке осуществляют следующие операции: выбивку (извлечение отливки из формы) и удаление стержней, обрезку литниковой системы, прибылей и технологических приливов, очистку поверхности отливки, обрубку остатков литниковой системы и заливов, исправление дефектов, зачистку поверхности отливки до требуемой шероховатости, термическую обработку, защиту отливок от коррозии, включающую химическую обработку (не для всех отливок), грунтовку и окраску, контроль качества, приемку и складирование.

Необходимость указанных операций для каждой конкретной отливки (или вида отливок) определяется способом литья, видом сплава, областью применения отливки и предъявляемыми к ней требованиями.

На финишные операции в среднем приходится 25—50 % трудоемкости изготовления отливок. В некоторых случаях трудовые затраты на финишную обработку могут в несколько раз превосходить затраты на все остальные операции изготовления отливок.

Выполнение финишной обработки (особенно обрубных, обрезных и зачистных операций) связано с решением таких задач, как повышение производительности труда, механизация и автоматизация процессов, улучшение условий труда и экологии окружающей среды, снижение затрат (трудоемкости, вспомогательных материалов, используемых при финишных операциях, и энергии) и повышение качества отливок.

Решению указанных задач способствует применение промышленных роботов и манипуляторов, особенно при обрубке и зачистке отливок в цехах мелкосерийного (разносерийного) производства, где применяется литье в разовые песчаные формы. Применение роботов и манипуляторов облегчает тяжелые условия труда (применение большой физической силы, запыленность атмосферы, шум, вибрация).

На рис. 1 представлена схема, характерная для большинства промышленных роботов. Робот состоит из исполнительной части (*ИЧ*), системы датчиков положения звеньев (*ДП*) и вычислительной машины (*ВМ*), включающей в себя запоминающее устройство (*ЗУ*), управляющее устройство (*УУ*) и преобразователи аналог—код (*АК*) и код—аналог (*КА*). Исполнительная часть робота состоит из манипулятора (руки с захватами) и системы сервоприводов (для неподвижных роботов). У подвижных роботов в исполнительную часть входит также механизм перемещения самого робота.

Роботы фирмы ACEA (ASEA, Швеция) грузоподъемностью 60 кг используют для отрезки выпоров и прибылей отрезной пилой большого диаметра, смонтированной на мощном шпинделе с гидравлическим приводом. Робот оснащен датчиком, который регистрирует момент контакта отрезной пилы с отливкой. По сигналу датчика включается очередная фаза цикла. Применение контактного датчика позволяет корректировать цикл отрезки в зависимости от размера выпора или прибыли. Робот смонтирован в изолированной кабине. Установка имеет стол,

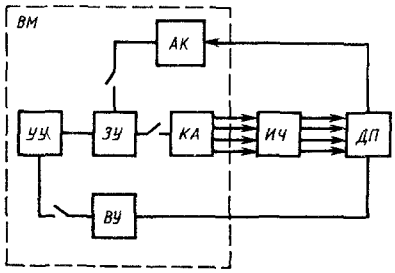


Рис. 1. Блок-схема промышленного робота

поворачивающийся на угол 180°, что позволяет проводить загрузку-разгрузку в процессе обработки.

Роботы фирмы «Траффла» (Traffla, Норвегия) предназначены для зачистки отливок. Все рабочие движения роботов управляются с помощью гидроцилиндров. При обработке первой отливки программа на магнитную ленту записывается с помощью датчиков обратной связи, которые при обходе контура (в режиме записи программы) 80 раз в секунду передают сигналы на исполнительный механизм привода робота. Точность обработки, гарантируемая роботом, составляет 3 мм. В руке робота установлена портативная шлифовальная головка с приводом мощностью 1 кВт и силой резания 150 Н. Как показывает опыт работы фирмы, внедрение роботов на зачистных операциях способствует повышению стойкости абразивных кругов, увеличению производительности труда и экономии рабочей силы.

Для выполнения транспортных операций и загрузочно-разгрузочных работ широко применяют простые манипуляторы, созданные на базе подъемно-транспортных устройств: кран-балок, тельферов и мостовых кранов. Оператор ориентирует захваты манипуляторов относительно объекта манипулирования и включает программное устройство, после чего объект переносят по определенному маршруту в закодированную точку. При этом возможно изменение скорости переноса, места назначения, выдержки до завершения необходимой технологической и транспортной операций. Для таких промышленных манипуляторов не требуются устройства для поиска объекта с точностью движения от долей миллиметра до нескольких миллиметров в конечном положении.

Причины слабого внедрения роботов и манипуляторов на финишных операциях — высокие механические нагрузки, возникающие, например, при необходимости обеспечения требуемой силы прижима абразивного круга к отливке, требования к технологической гибкости процесса вследствие частой смены типа очищаемых отливок из-за малой серийности производства, высокий уровень вибрации и наличие пыли, снижающие долговечность механизма манипулятора (робота) и др.

1. Выбивка, обрезка, очистка, обрубка, зачистка, химическая обработка отливок

Классификация финишных (очистных) операций по их назначению, способам обработки, применяемому оборудованию и инструменту приведена в табл. 1.

Выбивка. Продолжительность выдержки отливок в песчаной или оболочковой формах зависит от степени их сложности, применяемого сплава и массы отливок. Чем сложнее и массивнее отливка, тем дольше выдерживается отливка в форме. В зависимости от типа производства отливки из песчаных форм удаляются с помощью пневматического инструмента, подвесных вибраторов и коромысел или выбивных решеток (табл. 2 и 3).

Особенностью отливок из легких сплавов является их невысокая прочность. Поэтому во избежание механических повреждений отливки необходимо выбивать с осторожностью, особенно при работе на выбивных решетках. Оболочковые формы без опорного материала и с опорным сыпучим материалом легко выбиваются при опрокидывании отдельных форм или контейнеров на провальную решетку, а формы с жидким упрочняющим материалом выбивают на выбивных решетках. Кроме того, при литье по выплавляемым моделям для удаления остатков керамической формы с поверхно-

1. Классификация основных способов очистки литья

Операции и их назначение	Способы обработки	Оборудование, инструмент
Выбивка: удаление формовочной и стержневой смеси	Ручные	Пневматические молотки и зубила
	Механизированные:	
	вибрационный (встряхиванием)	Подвесные вибраторы и коромысла, вибрационные установки с отбойными молотками, выбивные решетки, выбивные транспортирующие решетки
	галтовка	Барабаны
	гидравлический, пескогидравлический (водопескоструйный)	Гидромониторы, камеры, барабаны, гидроустановки
	водоструйный (струей сверхвысокого давления)	Водометы, камеры, установки
	гидроабразивный	Камеры, установки
	электрогидравлический	Установки
Обрезка: удаление литников, прибылей, технологических приливов и заливов	Ручные	Пневматические зубила
	Механические	Ленточно-пильные станки, станки с дисковыми пилами, фрезерные, токарные и карусельные станки
	Абразивные	Абразивно-отрезные станки
	Газопламенные, газофлюсовые	Резаки, установки
	Газоэлектрические (воздушно-дуговой, кислородно-дуговой, плазменно-дуговой, газолазерный)	Резаки, установки
Очистка: удаление пригара, уменьшение шероховатости поверхности отливок	Ручные	Пневматический и слесарный инструмент, пневмо- и электромашинки с абразивными кругами и металлическими шарошками
	Механизированные:	
	дробеструйный, дробеметный	Очистные столы, камеры, барабаны, установки, линии, агрегаты
	галтовка	Барабаны
	гидравлический, гидроабразивный	Камеры, установки
	вибрационный	Установки
	ультразвуковой	
	химический, электрохимический	Установки, линии

Продолжение табл. 1

Операции и их назначение	Способы обработки	Оборудование, инструмент
Обрубка: удаление остатков литников, заливов, грубых неровностей поверхности	Ручные	Пневматические рубильные и клепальные молотки и зубила
	Срезание на прессе	Прессы, штампы
Зачистка: удаление остатков литников, заливов, заусенцев, облоя, выравнивание неровностей поверхности	Ручные и полумеханизированные	Пневмо- и электромашинки, шлифовальные и металлические круги, абразивные ленты и полотна, обдирочно-шлифовальные станки
	Механизированные:	
	термоэнергетические (термохимические)	Установки
	вибрационные, виброабразивные, виброгидроабразивные (виброхимические), вибропескоструйные	Виброустановки
	гидрогалтовочный	Барабаны
	центробежно-абразивные	Центробежно-планетарные установки
	ультразвуковой	Установки
	химический, электрохимический	Установки
	криогенно-галтовочные	Барабаны, установки
	газоплазменный (газофлюсовый, кислородно-флюсовый)	Резаки, установки
	газоэлектрический (воздушно-дуговой, кислородно-дуговой, плазменно-дуговой)	Резаки, установки
	электроконтактный	Станки, установки

сти отливок используют установки типа мод. 6А92, работающие по принципу отбойного молотка.

Выбивку стержней на масляных, водорастворимых, термореактивных и жидкостекольных связующих проводят с помощью пневмозубил, накладных вибраторов и простейших вибрационных решеток. Для средних и крупных отливок со сложными внутренними полостями выбивку осуществляют в гидравлических камерах водой низкого (0,5—1,0 МПа) или высокого (10—20 МПа) давления.

Применяют также установки, работа которых основана на электрогидравлическом эффекте. Особенно перспективны эти установки для отливок со сложными внутренними полостями. На них наряду с выбивкой стержней проводят первичную очистку отливок от отработанных формовочных смесей и керамической формы. Основные технические характеристики электроги-

2. Технические характеристики выбивных инерционных решеток

Параметр	Модель инерционной решетки					
	31211	31212	31213	31214	31215	31216
Грузоподъемность, т	10	16	25	40	63	100
Размеры рабочего полотна, мм:						
длина	1250	1600	2000	2240	2500	3150
ширина	1000	1250	1600	1800	2000	2500
Размеры ячейки полотна, мм:						
длина	170	140	126	170	170	140
ширина	60		62	80	60	130
Частота колебаний, мин$^{-1}$	1400	1405	1430	965	965	970
Амплитуда колебаний, мм	1,7	1,6	1,6	3	3,65	3,8
Установленная мощность, кВт	2,2	4,4	8	15	22	37
Габаритные размеры решетки (длина×ширина×высота), мм	1670×1270×690	2090×1625×770	2475×2030×770	2926×2270×1045	3170×2530×1065	3850×3180×1126
Масса, т	1,12	2,1	3,05	4,9	6,9	10

3. Технические характеристики выбивных транспортирующих решеток

Параметр	Модель транспортирующей решетки				
	31241	31242	31243	31244	31255
Грузоподъемность, т	16	25	40	100	100
Размеры полотна (длина×ширина), мм	3150×1000	3150×1250	4500×1600	6000×2000	6000×2500
Скорость транспортирования отливок, м/мин	8		4—6		
Амплитуда колебаний в направлении возмущающей силы, мм	3,2		3—6		4
Частота колебаний, мин$^{-1}$	800—1400		960		800
Установленная мощность, кВт	8		37	45	
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	3260×2020×1325	3260×2543×1430	6230×3950×3000	6230×3900×2810	6600×3560×3710
Масса, т	—	4,7	24,1	23,8	31

дравлических установок приведены в табл. 4.

Обрезка. После выбивки стержней и каркасов отливки поступают на участок обрезки. Обрезку прибылей, выпоров и литников у мелких и средних отливок из легких сплавов осуществляют на ленточных и дисковых пилах, вулканитовых кругах и обрезных прессах. Производительность лен-

4. Технические характеристики электрогидравлических установок периодического действия

Параметр	Модель установки			
	36121А *1	36213Б *1	36213 *2	36214 *2
Наибольшие габаритные размеры обрабатываемой отливки (длина×ширина×высота), мм	1800×1000×700	2000×1200×1000	2000×1200×1000	3200×2000×1200
Грузоподъемность, т	2,5	4	5	10
Производительность для отливок, кг/ч:				
из чугуна	3000	6500	8000	9000
из алюминия	—	—	1200	—
Расход на 1 т отливок:				
воды, м³	0,3	0,3	0,3	0,2
электроэнергии, кВт·ч	6	8	8	10
Занимаемая площадь, м²	58	155	50	100
Установленная мощность электродвигателей, кВт	44	—	180	200
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	8100×7200×47 20	20 400×9760×9 140	—	16 000×6000×8200
Масса, т	14	49	36	56

*1 Тупиковые установки.
*2 Проходные установки.

5. Технические характеристики ленточных пил

Параметр (размеры, мм)	Модель ленточной пилы			
	ЛС-80	ЛС-70-3	ЛС-70-1	ЛС-70-2
Диаметр пильного диска	800	700		
Наибольшая высота пропила	450	330	380	
Наибольшая ширина ленты	35	30		
Требуемая длина ленты	5360—5680	4600—4750	4560—4750	4500—4750
Размеры поворотного стола	990×775		750×750	
Наибольший угол наклона, ...°	45			
Частота вращения диска, об/мин	500	600	950	1000
Габаритные размеры (длина×ширина×высота)	700×1350×900	650×1450×950	650×1315×750	
Масса, т	1,4	1,975	2,1	

точных пил (табл. 5) значительно превосходит производительность дисковых пил.

Техническая характеристика дисковой пилы СТ-25

Число шпинделей	2
Расстояние между дисками, мм	250—750
Размеры рабочей поверхности стола (длина × ширина), мм	2900×600
Продольный ход стола, мм	2000
Высота оси шпинделя от стола, мм	320
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$	350; 500; 650
Скорость движения стола, мм/мин	96; 112; 162; 184
Диаметр пилы, мм	510

На крупных отливках (блоках цилиндров, каретках, корпусах редукторов и др.) прибыли часто располагают перпендикулярно плоскости разъема, поэтому для их обрезки целесообразно применять горизонтальные ленточно-пильные станки. Такой станок, смонтированный на базе станка ЛС-80 (рис. 2), состоит из станины *11*, на которой горизонтально закреплена

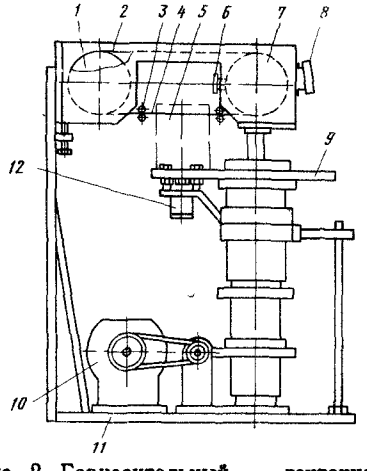


Рис. 2. Горизонтальный ленточно-пильный станок

пильная рама *2*. На раме расположены ведущий *1* и направляющий *7* шкивы, огибающее пильное полотно *4* и поджимные элементы *3*, расстояние между которыми можно регулировать. Шкив *7* имеет устройство *6* для натяжения ленточного полотна. Рабочий стол *9* приводится в движение приводом *10*, который расположен на станине. Рычаг для зажима обрабатываемых деталей *5* шарнирно связан с пневмоцилиндром *12*. Управление осуществляется от пульта *8*. Вращающийся без остановки стол обеспечивает последовательную подачу детали в зону резания, ее съем и установку. Детали устанавливают и снимают вне зоны резания. Вследствие того, что пильная лента постоянно находится в обрабатываемой детали, при ее обрыве исключается вылет пилы в рабочую зону. Высота остатка прибыли после обработки на станке составляет 2—3 мм вместо 5—8 мм при ручной резке на станке ЛС-80. Продолжительность резки значительно сокращается.

Обрезку прибылей у крупногабаритных отливок массой более 100 кг, а также при массовом производстве отливок проводят на карусельных и фрезерных автоматических станках.

Медные, медно-никелевые и другие тяжелые цветные сплавы обладают по сравнению с легкими сплавами большей прочностью и вязкостью, что исключает возможность применения ленточных пил для обрезки отливок. Поэтому прибыли, литники и выпоры у отливок из тяжелых цветных сплавов обрезают на дисковых пилах и фрезерных станках.

Очистка поверхности отливок. Для удаления пригара с наружных и внутренних поверхностей отливок, а также подготовки этих поверхностей под лакокрасочные, гальванические, химические или порошковые покрытия применяют очистку отливок дробью (металлическим песком), гидроабразивную, вибрационную, ультразвуковую, химическую, электрохимическую и другие виды очистки.

Наибольшее распространение нашла очистка отливок дробью и гидроабразивная. Для очистки дробью используют дробеструйные камеры, очистные машины с вращающимся столом, на

котором размещаются очищаемые отливки, очистные дробеметные барабаны периодического и непрерывного действия, проходные дробеметные камеры, в которых проводится очистка отливок, подвешенных на подвесках с одним или несколькими крюками, вращающихся вокруг своей вертикальной оси при движении через камеру (табл. 6). Кроме того, постоянно создаются специальные очистные машины и агрегаты, предназначенные для очистки определенного класса отливок.

Независимо от разновидности очистные машины представляют собой закрытые камеры, в которых размещаются отливки и на них направляется поток дроби. Дробь может выбрасываться сжатым воздухом (дробеструйные машины) или лопатками вращающихся турбин (дробеметные очистные установки). Последний способ выбрасывания дроби применяется чаще, так как он примерно в 10 раз эффективнее дробеструйного, а его энергоемкость также в 10 раз меньше. Недостаток дробеметной очистки — затруднительность очистки внутренних полостей отливок сложной конфигурации. Техническая характеристика дробеструйных и дробеметных аппаратов приведена в табл. 7.

Из дробеструйных аппаратов на обрабатываемую поверхность дробь выбрасывается под давлением сжатого воздуха 0,5—0,6 МПа со скоростью 20—30 м/с. Расстояние от сопла до поверхности отливок составляет 200—600 мм, а угол атаки дроби (угол, образуемый осью потока дроби с плоской поверхностью отливки) — 45—60°. При дробеметной обработке дробь разгоняется и выбрасывается веером на очищаемые отливки со скоростью 70—80 м/с; подача дроби составляет до 800 кг/мин.

Дробеструйную и дробеметную очистку используют главным образом для очистки отливок, получаемых в песчаных формах и кокилях. Для очистки используют стальной песок или стальную дробь фракции: 0,3—0,8 мм для крупных отливок; 0,2—0,3 мм для средних; 0,1—0,2 для мелких. Очистка более крупной дробью приводит к увеличению шероховатости поверхности отливок. В случае применения дробе-

6. Дробеочистные машины

Дробеочистная машина	Модель	Наибольшие размеры очищаемых отливок (объемная диагональ), мм
Барабан периодического действия: с металлическим подом и удалением стержней	42233	(470)
с предварительной регенерацией выбитой смеси	42236	(600)
Барабаны непрерывного действия	42322М	(700)
	42313М	(850)
Камера периодического действия: универсальная	42834	∅ 800××1100
с удалением стержней	42815М	∅ 1600××2000
	42816М	∅ 2000××2500
	42817М	∅ 2500××3000
с удалением стержней и сепарацией дроби	42825	∅ 1600××2000
	42826	∅ 2000××2500
	42827	∅ 2500××3000
Камеры непрерывного действия	42733	∅ 800××1400
	42734	∅ 1000××1700
	42735	∅ 1200××2000
Камеры с ручным управлением: дробеструйная	44612	500××500××300
гидропескоструйная	44712	500××500××300
Столы очистные	345М	450××400××300
	353М	∅ 900××600

7. Дробеструйные и дробеметные аппараты

Аппарат	Модель аппарата	Производительность по дроби, кг/мин
Дробеструйный двухмерный:		
с ручным управлением	334М	25
с автоматической пересыпкой	44122	30
с одним соплом		
Дробеметный:		
правого вращения	2М393	140
	42115	250
	42116	400
	42117	800
левого вращения	2М392	140
	42125	250
	42126	400
	42127	800

струйного способа для очистки ажурных тонкостенных отливок, получаемых специальными способами литья, используют мелкую стальную дробь (0,1—0,3 мм) или смесь из алюминиевой дроби (70 %) и фруктовой косточки (30 %).

Далее приведены технические характеристики дробеметных очистных машин, выпускаемых заводом Амурлитмаш (очистного барабана 42233, универсальной очистной камеры 42834 и очистных столов 345М и 353М).

Техническая характеристика очистного дробеметного барабана 42233 периодического действия

Объем загрузки, м³	0,3
Тип пода	Резиновый
Размеры рабочего пространства барабана (диаметр × × длина), мм	900×1120
Наибольшая масса загрузки, кг	800
Наибольшая объемная диагональ отливки, мм	700
Производительность для отливок из чугуна, т/ч	2,0
Установленная мощность, кВт	42,0
Объем отсасываемого воздуха, м³/ч	15 000
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	4500×4500×4500
Масса, т	17,5

Дробеметный барабан можно использовать для очистки компактных мелких и средних отливок массой до 80 кг из медных сплавов в условиях единичного, мелко- и среднесерийного производства. В барабане выполняют операции очистки отливок и удаления стержней.

Техническая характеристика универсальной очистной дробеметной камеры 42834 периодического действия

Грузоподъемность транспортирующего устройства, кг:	
подвески	630
стола	630
колокола	400
Наибольшие размеры очищаемых отливок, мм:	
на подвеске	⌀ 800×1100
на столе	⌀ 1200×650
Объемная диагональ отливки при очистке в колоколе, мм	400
Масса дроби, выбрасываемой дробеметными аппаратами (кг/мин) при обработке деталей:	
на подвеске	500
на столе и в колоколе	250
Продолжительность (мин) воздействия потока дроби на одну загрузку при очистке отливок из серого чугуна:	
на подвеске	6
на столе	12

в колоколе	7
Производительность (т/ч) при очистке на подвеске отливок из серого чугуна	3,8
Количество отсасываемого воздуха, м³/ч	12 300
Габаритные размеры камеры при одной (левой) открытой двери (длина × ширина × высота), мм	3900× ×4850× ×5530
Масса без колокола и стола, т	13,0
Камера предназначена для работы в цехах единичного, мелкосерийного и серийного производства	.

Технические характеристики очистных дробеметных столов моделей 345М и 353М

	345М	*353М*
Наибольшие габаритные размеры очищаемых деталей, мм:		
длина × ширина × высота . .	450× ×400× ×300	—
диаметр × высота	—	⌀ 900× ×600
Общая масса деталей, одновременно установленных на столе, кг	600	1590
Наибольшая масса очищаемой детали, кг	150	530
Диаметр, мм:		
стола	1600	3200
тарелки	—	1300
Число:		
тарелок	—	3
дробеметных аппаратов	1	2
Производительность одного аппарата по дроби, кг/мин	160	250
Количество отсасываемого воздуха, м³/ч	6000	7560
Грузоподъемность электротали, кг	—	1000
Установленная мощность, кВт . .	23,3	—
Габаритные размеры (длина × × ширина × высота), мм	3200× ×2500× ×5050	4300× ×6100× ×7000
Масса, кг	4,76	18,0

Гидроабразивную очистку с давлением воды 0,5 МПа используют для очистки отливок из алюминиевых и медных сплавов, применяя в качестве абразивных материалов кварцевый песок, корунд и электрокорунд. Для предотвращения коррозии отливок в воду добавляют различные антикоррозионные растворы [например, 1 %-ный раствор кальцинированной соды (Na_2CO_3)].

Далее приводятся технические характеристики дробеструйной (44612) и гидропескоструйной (44712) камер с ручным управлением, выпускаемых заводом Амурлитмаш и предназначенных для очистки мелких отливок из цветных сплавов массой до 15 кг.

Технические характеристики дробеструйной и гидропескоструйной камер с ручным управлением

	44612	*44712*
Наибольшие размеры очищаемых деталей (длина × × ширина × высота), мм	500×500×300	
Наибольшая масса очищаемых деталей, кг	15	
Наибольший диаметр длинномерных деталей, мм	90	150
Производительность по площади обработки, см²/мин	220	185
Количество загружаемого абразива, кг	—	30—40
Количество заливаемой воды, м³	—	0,08
Объем отсасываемого воздуха, м³/ч	1470	1000
Установленная мощность, кВт	—	6,8

Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	1840×1755×2135	1840×1450×2150
Масса, кг	800	880

Для очистки отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, к которым предъявляются высокие требования по шероховатости поверхности, используют гидравлический способ. При этом способе тонкая струя воды под давлением 20—30 МПа подается на отливку или в ее полость, разрушая остатки формовочной и стержневой смесей.

Галтовку отливок во вращающихся барабанах используют для очистки мелких и средних компактных отливок из медных сплавов с толщиной стенки более 10 мм, которые не боятся механических повреждений. При галтовке в результате трения и соударения отливок между собой и с наполнителем, а также со стенками барабана при его вращении помимо поверхностной очистки удаляются мелкие стержни, округляются кромки литников, заусенцев и заливов. В барабан загружают отливки на 70—80 % объема и наполнитель в количестве 30—35 % массы отливок. Продолжительность очистки составляет 0,5—2 ч. Крупные отливки с выступающими частями «закрепляются» внутри барабана и очищаются только в результате соударения с наполнителем.

Промышленность выпускает галтовочные барабаны периодического и непрерывного действия. Барабаны периодического действия применяют в основном для очистки отливок в условиях единичного и мелкосерийного производства, а барабаны непрерывного действия — в условиях серийного и массового производства.

Техническая характеристика галтовочного барабана 41114 периодического действия (Тбилисский завод литейного оборудования)

Объем загрузки, м³	0,8
Наибольшая масса загрузки, кг	1800
Размеры полости барабана (диаметр × длина), мм	900×1400
Размеры разгрузочного люка (длина × ширина), мм	1250×600
Частота вращения барабана, об/мин	30
Количество отсасываемого воздуха, м³/мин	25
Установленная мощность, кВт	75
Габаритные размеры с механизмами (длина × ширина × высота), мм	3525×1615×1490
Масса барабана, т:	
общая	5
без механизма погрузки и выгрузки	3,82

Барабан можно использовать для очистки комплектов мелких и средних отливок из медных сплавов в цехах массового, серийного и мелкосерийного производства. Часто его используют также для очистки поковок, штамповок и других заготовок.

Обрубка отливок. С отливок, получаемых литьем в песчаные формы и кокиль, обрубают литники, заливы и неровности пневматическими рубильными вибрационными молотками. Молотки снабжены вибрационной защитой и колпаками-манипуляторами для удержания рабочего инструмента и его поворота вокруг собственной оси (табл. 8). Обрубку отливок, получаемых литьем под давлением, производят в специальных штампах на прессах.

Зачистка отливок. Удаление с отливок небольших остатков литниковопитающей системы, заливов, заусенцев, выравнивание неровностей поверхности производят слесарной зачисткой с использованием пневматических и электрических машинок, оснащенных абразивными и металлическими шарошками и шлифовальными (металлическими и абразивными) кругами, абразивными лентами и полотнами, а также на специальных обдирочно-шлифовальных и зачистных станках.

Технические характеристики пневматических и электрических шлифовальных машин приведены в табл. 9—11; обдирочно-шлифовальных и зачистных станков в табл. 12 и 13.

Обдирочно-шлифовальные стационарные станки М3-48, М3-49 с правым

8. Технические характеристики виброзащищенных пневматических рубильных молотков

Модель	Энергия удара, Дж	Частота ударов, $с^{-1}$	Сила натяжения, Н	Масса отливки, кг	Наибольшая толщина удаляемого залива, мм	Длина молотка (без рабочего инструмента), мм	Масса молотка (без рабочего инструмента), мм
ИП-4120	8	40	150	До 20	4—6	370	5,5
ИП-4119	12,5	38	160	20—100	5—10	390	6,0
ИП-4118	16	24	170	100—5000	10—15	440	6,6
1620	12,5	38	160	20—100	5—10	380	5,3
1620-01	16	28	170	100—5000	10—15	400	5,7

Примечания: 1. Удельный расход воздуха для молотков всех моделей — 2,45 $м^3$/(мин·кВт).

2. Молотки ИП-4100, ИП-4119 и ИП-4118 разработаны во ВНИИСМИ, 1620, 1620-01 — в ВПТИлитпроме.

9. Технические характеристики пневматических шлифовальных ручных машин

Параметр	Модели шлифовальных ручных машин			
	Прямых			Торцовых ИП-2203А
	ИП-2009А	ИП-2014А	ИП-2015	
Диаметр шлифовального круга, мм	63	150		125
Окружная скорость шлифовального круга, м/с	40	—	40	30
Мощность на шпинделе, кВт	0,44	1,3	0,73	1,3
Частота вращения шпинделя, $с^{-1}$	201	85	127	79
Объемный расход сжатого воздуха, $м^3$/мин	0,9	1,8	1,2	1,6
Давление воздуха, МПа	0,5			
Габаритные размеры машины (длина×ширина×высота), мм	440×72××65	590×164××130	567×120××100	320×150××200
Масса (без шлифовального круга), кг	1,9	5,7	3,5	4,0

Примечание. Машины ИП-2009А изготовляют на московском заводе «Пневмостроймашина», ИП-2014А и ИП-2015 — на Конаковском заводе механизированного инструмента; ИП-2203А — в Свердловском ПО «Пневмостроймашина» им. Серго Орджоникидзе.

10. Технические характеристики ручных электрических шлифовальных машин [1]

Параметр	Модель ручной электрической шлифовальной машины			
	прямой			угловой ИЭ-2106
	ИЭ-2004А	ИЭ-2008	ИЭ-2008	
Шлифовального круга:				
диаметр, мм	150	63	125	80
частота вращения шпинделя, $с^{-1}$	63	113	43	55
окружная скорость, м/с	—	50	30	—
Электродвигателя:				
тип	Асинхронный трехфазный с короткозамкнутым ротором	Однофазный коллекторный		
потребляемая мощность, кВт	1,07	0,6	1,15	0,6
частота вращения, $с^{-1}$	200	200	250	200
напряжение, В	36	220	220	220
частота тока, Гц	200		50	
класс защиты	III		II	
Габаритные размеры машины, мм	609×204×117	575×86×86	620×144×106	420×108×141
Масса (без кабеля и шлифовального круга), кг	6,5	3,45	6,5	3,8

Примечание. Машины ИЭ-2004А изготовляют на выборгском заводе «Электроинструмент», ИЭ-2008, ИЭ-2009 и ИЭ-2106 — в резекненском ПО «Электроинструмент» им. XXIV съезда КПСС.

и левым исполнением и подвесные станки 3Е374 и 3Е375 применяют в литейных цехах с мелкосерийным и индивидуальным типами производства. Высокоавтоматизированные зачистные станки (см. табл. 12) предназначены для оснащения комплексно-механизированных участков зачистки отливок массой 0,5—30 кг, имеющих цилиндрические и плоские поверхности. Все операции, кроме загрузки отливок в приспособление рабочего стола, выполняются автоматически. Станки оснащены механизмами компенсации изнашивания и правки шлифовального круга и могут зачищать одновременно две-три поверхности отливок.

Для удаления заусенцев и зачистки отливок, получаемых точными способами литья, используют также способы и методы зачистки: термоэнергетический (термохимический), электрохимический и ультразвуковой методы; криогенную, вибрационную, виброабразивную, виброгидроабразивную, вибропескоструйную, центробежно-планетарную абразивную, виброхимическую обработку; гидрогалтовку, подводную галтовку и др.

Вибрационную, виброабразивную, виброгидроабразивную и другие методы вибрационной зачистки применяют для удаления облоя толщиной до 0,5 мм с мелких и средних отливок, полученных литьем под давлением, в кокиль, а также для полировки, шлифовки, очистки от окалины и пригара отливок, изготавливаемых другими точными способами литья. Очистка проводится с применением вибрации контейнера с отливками и наполнителем (сухим (механический процесс) или сме-

11. Технические характеристики ручных электрических шлифовальных машин с гибким валом

Параметр	Модель ручной электрической шлифовальной машины с гибким валом	
	ИЭ-6103	ИЭ-8201А
Электродвигателя:		
тип	Трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором	
потребляемая мощность, кВт	1,02	
частота вращения, $с^{-1}$	48	
напряжение, В	220	
частота тока, Гц	50	
класс защиты	II	
габаритные размеры, мм	328×175×245	
масса, кг	13	
Шлифовальной головки:		
диаметр круга, мм	200 *1; 125 *2	200 *1; 125 *2
частота вращения шпинделя, $с^{-1}$	49 *1; 68 *2	49 *1; 49 *2
габаритные размеры, мм	298×268×284 *1; 347×246×211 *2	261×228×213 *1; 284×240×255 *
масса (без круга), кг	3,2 *1; 3,7 *2	2,7 *1; 2,7 *2
Гибкого вала:		
тип	В-122-1	
направление вращения	Правое	
длина, мм	3400	
наибольший крутящий момент, Н·м	3—3,5	
допустимый радиус изгиба, мм	300	
масса, кг	12,5	

Продолжение табл. 11

Параметр	Модель ручной электрической шлифовальной машины с гибким валом	
	ИЭ-6103	ИЭ-8201А
Масса комплекта, кг	34	26,5

*1 Для прямой шлифовальной головки.

*2 Для угловой шлифовальной головки.

Примечание. Машины изготовляют на выборгском заводе «Электроинструмент».

шанным с химическими растворами (химико-механический процесс)]. Рекомендуемый диапазон частоты вибрации составляет 1250—2000 $мин^{-1}$ при амплитуде вертикальных колебаний в пределах 3—6 мм.

Рабочие камеры виброустановок (табл. 14), имеющие прямоугольную форму, рекомендуется загружать на 50—75 %, а тороидовидную — на 80—90 % их объема. Объемное соотношение отливок и наполнителя может колебаться от 1 : 2 до 1 : 10. Чем сложнее форма отливок и выше требования к шероховатости их поверхности, тем больший объем должен занимать наполнитель.

В качестве наполнителей при вибрационной очистке отливок чаще всего используют электрокорунд, электротехнический фарфор и бой абразивных кругов зернистостью 16—25 (ГОСТ 3647—70).

Наиболее ходовые размеры кусков очистной среды 10—35 мм. Выбор размеров кусков зависит от размеров и конфигурации отливок. Использование наполнителя указанной зернистости для очистки отливок, изготовляемых литьем под давлением, не приводит

12. Технические характеристики зачистных станков конструкции НИИлитавтопрома

Параметр	Модель зачистного станка								
	4590	4606 (4585)	4579	4614	4625 (4586)	4580А	4582	4594	4608
Станка:									
производительность, отливок/ч	До 2000	До 2500	До 2000	150—300		До 1200	500—700	150—300	20—50
габаритные размеры отливок (длина×ширина×высота или диаметр×высота), мм:									
наименьшие	20×15×10	40×25×25	70×15×15	100×100×100	200	⌀20×15	⌀60×15	⌀ 170	50×50×50
наибольшие	70×50×50	200×70×100	400×200×250	500×500×500	500	⌀70×60	⌀170	⌀ 350	300×300×300
масса отливки (кг), не более	0,5	1,5	12	20	30	1	5	30	20
скорость подачи, м/мин	1—3	2,9—13,3	2,9—13,3	1—4	1,5—3,6	3,9	2,5—3,9	1,4	—
число шлифовальных головок, шт.	1	3	2	3		1			
мощность электродвигателей, кВт	11,2	75	48,9	50,3	128	13	20,7	25,4	15,5
габаритные размеры (длина×ширина×высота), м	1,82×1,3×1,63	3,2×2; 665×2,0	3,25×2; 665×1,75	5,87×3,77×2,82	5,31×3; 476×3,86	1,12×1,42×1,8	2,56×1,42×1,76	1,4×2,72×2,3	1,19×1,1×1,4
масса, т	2,7	5,3	4,7	7,234	16	2,09	3,1	4,7	0,97
Шлифовального круга:									
тип	ПП	ПН				ПП	ПН		ПП
наружный диаметр×толщина×внутренний диаметр, мм	600×80×305	600×80×305	508×102×406			300×63×127	600×80×305		750×80×305
окружная скорость, м/с	40—50	35—50	40—50	40	35—40	40		50	63

13. Технические характеристики обдирочно-шлифовальных станков

Параметр	Модель станка			
	стационарного		подвесного	
	МЗ-48П (Л)	МЗ-49П (Л)	ЗЕ374	ЗЕ375
Шлифовального круга типа ПП:				
наружный диаметр×толщина×внутренний диаметр, мм	600×80×305	750×100×305	400×40×203	500×63×203
зернистость	80—125		125—160	
окружная скорость, м/с	57		50	
число, шт.	2		1	
Станка:				
мощность электродвигателя, кВт	11	15	7,5	11
габаритные размеры (длина×ширина×высота), м	1,2×1,035×1,425	1,44×1,32×1,6	2,6×0,54×0,66	2,6×0,76×0,8
масса, т	1,33	1,96	0,3	0,4

Примечание. Станки МЗ-48П (Л), МЗ-49П (Л) изготовляют на Мукачевском станкостроительном заводе им. С. М. Кирова; ЗЕ374 и ЗЕ375 — на Дербентском заводе шлифовальных станков.

к увеличению шероховатости их поверхности.

При виброгидроабразивной очистке очищающее действие оказывают вибрация и химические растворы (табл. 15). Растворами механически удаляют мелкие фракции наполнителя, восстанавливают режущие свойства абразивного наполнителя, удаляют с поверхности деталей окисные пленки и соли, особенно в труднодоступных местах и др. Количество раствора в контейнере поддерживают в пределах $^1/_{14}$ — $^1/_{20}$ его объема; уровень массы деталей вместе с наполнителем не должен быть менее $^4/_5$. Очистные вибрационные машины ВМ-12М, ВМП-25 и ВМ-100 с прямолинейной рабочей камерой и ВМПВ-200 и ВМПВ-400 с тороидовидной рабочей камерой предназначены для объемной виброобработки деталей: очистки отливок от пригара, удаления окалины, ржавчины, а также снятия заусенцев, притупления острых кромок, образующихся при штамповке и обработке резанием. При отделочных операциях уровень раствора должен составлять $^1/_2$—$^2/_3$ высоты контейнера.

При ультразвуковой очистке отливки подвергаются одновременному воздействию местной кавитации и больших ускорений в очищающей жидкости, что приводит к разрушению загрязненной поверхности отливок и эмульгированию жировых примесей.

Ультразвуковой очистке подвергают мелкие отливки с высокими требованиями к шероховатости поверхности. Процесс проводят в специальных установках ультразвуковой очистки. Предварительно поверхности деталей обезжиривают. Качество ультразвуковой очистки зависит от температуры и состава растворителя (табл. 16).

Химическая и электрохимическая очистка отливок. Основным преимуществом очистки отливок в жидких средах является возможность одновременной очистки наружных и внутренних поверхностей независимо от их конфи-

14. Технические характеристики очистных вибромашин

Параметр	Методы очистной вибрационной машины				
	ВМ-12М	ВМП-25	ВМ-100	ВМПВ-200	ВМПВ-400
Объем рабочей камеры, $дм^3$	12	25	100	200	400
Наибольшая масса загрузки, кг	25	50	200	300	600
Размер обрабатываемой детали, мм:					
наибольший	50	75	150	—	—
наименьший	—	—	3	—	—
Масса обрабатываемой детали, кг:					
наибольшая	0,25	0,5	1	—	—
наименьшая	—	—	0,04	—	—
Наибольшая амплитуда колебаний, мм	4,5	4		3,5	
Частота колебаний (изменяется ступенчато), $мин^{-1}$	1000; 1500; 2000	1100; 1500; 2250	1000; 1250; 1600; 2000	630; 800; 1250; 2000	1000; 1600;
Установленная мощность, кВт	1,08	1,5	4,4	5,5	11
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	1100×698×1270	1820×1000×1550	1480×1720×2290	3000×2800×2250	3500×3000×2250
Масса, кг	460	1695	2520	3000	4000

15. Составы растворов для виброгидроабразивной очистки

Материал отливки	Операция	Состав раствора	Содержание компонента, %
Алюминиевые, магниевые и цинковые сплавы	Очистная	Тринатрийфосфат	0,8
		Вода	99,2
Сплавы на медной основе		Кальцинированная сода	0,5—1
		Вода	99,5—99
	Отделочная	Хромовый ангидрид	1
		Поваренная соль	0,5
		Вода	98,5

16. Растворители, применяемые при ультразвуковой очистке отливок

Материал отливки	Состав раствора	Концентрация, г/л	Температура, °С
Алюминиевые и цинковые сплавы	Тринатрийфосфат ОП-7 (или ОП-10) Метасиликат натрия Кальцинированная сода	5—10 3 10 10	60—70
Латуни и бронзы	Едкий натр Тринатрийфосфат ОП-7 (или ОП-10) Кальцинированная сода	5—10 30—60 3—6 15—30	50—60

гурации. При выборе раствора учитывают материал отливки, толщину и характер пригара, тип производства, конструктивные и геометрические особенности деталей, подвергаемых очистке.

При термоэнергетическом (термохимическом) методе удаление заусенцев происходит под действием тепловой (температура 2500—3500 °С) и ударной волн, возникающих во время детонационного горения смеси — горючего газа (водорода или метана) и кислорода. Процесс осуществляется следующим образом (рис. 3). Обрабатываемые детали устанавливаются на тарелки замыкания, смонтированные на поворотном столе, и поочередно заводятся в колпаковую камеру для снятия заусенцев и с помощью гидравлическо-

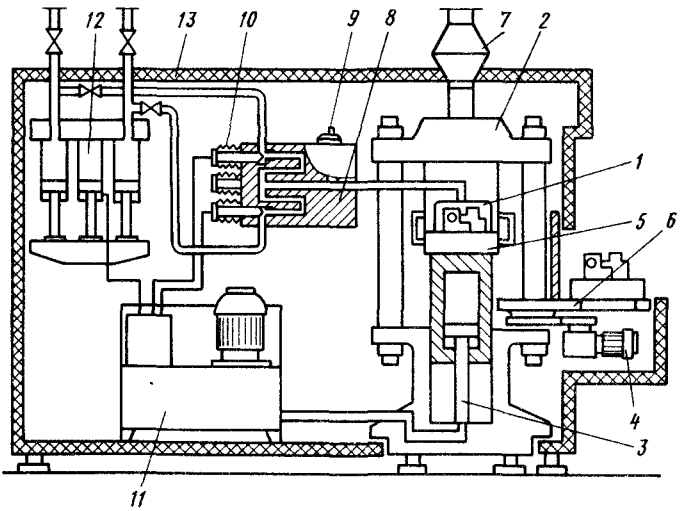


Рис. 3. Схема работы термоэнергетической установки для снятия заусенцев:
1 — камера для снятия заусенцев; *2* — станина; *3* — гидравлическая система замыкания; *4* — привод круглого стола; *5* — тарелка замыкания; *6* — поворотный стол; *7* — отсос; *8* — смесительный блок горючего газа; *9* — устройство зажигания; *10* — газовые клапаны; *11* — гидравлический насос; *12* — газодозировочная система; *13* — звукопоглощающая кабина

го механизма закрывают ее герметично снизу.

Необходимое количество газов дозируется газовыми клапанами и подается в смесительный блок, а оттуда — в рабочую камеру для снятия заусенцев. После наполнения газовой смесью рабочей камеры происходит ее воспламенение от свечи зажигания. При этом облой и заусенцы толщиной до 0,3 мм сгорают или оплавляются без повреждений отливок, так как сгорание смеси происходит в короткий промежуток времени (приблизительно 20 мс), и таким образом исключается прогрев отливок на большую глубину. Чтобы исключить перемещение отливок в рабочей камере под действием ударной волны, мелкие отливки укладывают в корзину или на специальные крепежные устройства; крупные отливки можно укладывать без специального крепления на тарелке замыкания. Термоэнергетическим методом можно удалять облой и заусенцы толщиной до 0,5 мм на отливках из алюминиевых, цинковых, медных и медно-никелевых сплавов.

При криогенном методе снятия заусенцев отливки загружают в барабан, который наполняют жидким азотом при температуре минус 70 °С из расчета 250 г на 1 кг отливок. Длительность обработки 2—4 мин при вращении барабана с частотой 50—60 об/мин. Этот метод пока имеет ограниченное применение, главным образом для отливок из цинковых сплавов.

2. Термическая обработка отливок

С помощью термической обработки повышаются физико-механические свойства сплава (прочность, пластичность, твердость и др.), снимаются внутренние напряжения, стабилизируются размеры отливок. В результате термической обработки улучшаются и другие технологические и эксплуатационные свойства отливок, например, обрабатываемость резанием, антикоррозионные свойства, износостойкость.

В зависимости от применяемых сплавов и назначения деталей применяют различные виды термической обработки. Чаще всего отливки подвергают отжигу, закалке и старению.

Термическая обработка алюминиевых сплавов. Основные виды термической обработки алюминиевых сплавов в соответствии с ГОСТ 2675—75 приведены в табл. 17.

Искусственное старение без предварительной закалки (режим Т1) вызывает частичный распад твердого раствора, образовавшегося в процессе затвердевания и последующего охлаждения отливки в форме. При литье в металлические формы появляется неравновесная кристаллизация сплавов, обусловливающая повышенное содержание легирующих элементов в твердом растворе. Иногда для фиксирования повышенной концентрации компонентов в твердом растворе применяют охлаждение затвердевшей отливки не в литейной форме и не на воздухе, а в воде (эффект дополнительной частичной закалки).

При искусственном старении отливок, изготовленных кокильным литьем или под давлением, достигается эффект дисперсионного твердения. При этом временное сопротивление и твердость по Бринеллю повышается в среднем на 30 % по сравнению с этими же характеристиками в исходном (литом) состоянии сплавов. В свою очередь это приводит к улучшению обрабатываемости отливок резанием.

Отжиг (режим Т2) приводит к перераспределению остаточных напряжений и уменьшению их общего уровня в отливках. Максимальное снятие остаточных напряжений в отливках из алюминиевых сплавов достигается при температурах отжига 350—400 °С. Для стабилизации размеров литых деталей из алюминиевых сплавов, например деталей точных приборов, применяют отжиг при 230—300 °С, который уменьшает напряжения, возникающие при литье.

Сущность процессов, происходящих при отжиге, состоит в следующем. Если изделия нагревать до температур, при которых предел текучести становится меньше остаточных напряжений, то вначале происходит быстрое снижение напряжений до значения предела текучести вследствие массового размножения и скольжения дислокаций,

17. Основные виды термической обработки алюминиевых сплавов

Термическая обработка	Обозначение режима термической обработки	Назначение	Примечание
Искусственное старение без предварительной закалки	Т1	Улучшение обрабатываемости резанием литых деталей с целью снижения шероховатости поверхностей Повышение прочности	При литье в сырую песчаную форму или кокиль наблюдается некоторая подзакалка отливки, что улучшает эффект последующего искусственного старения
Отжиг	Т2	Резкое уменьшение литейных остаточных напряжений, устранение наклепа, вызванного обработкой резанием, и повышение пластичности	Температура и время выдержки определяются назначением детали
Закалка	Т4	Повышение прочностных характеристик	Режим Т4 практически соответствует режиму закалки с естественным старением, так как от начала закалки до окончания обработки резанием отливки проходит несколько дней
Закалка и кратковременное (неполное) искусственное старение	Т5	Получение достаточно высокой прочности и сохранения повышенной пластичности	Температура и время выдержки при данном режиме старения не обеспечивают полного старения сплава
Закалка и полное искусственное старение	Т6	Достижение максимальной прочности при некотором снижении пластичности	При данном режиме температура и время выдержки выше, чем при режиме Т5
Закалка и стабилизирующее старение	Т7	Получение достаточной прочности и сравнительно высокой стабильности структуры и геометрических размеров	Старение рекомендуется производить при температуре, близкой к рабочей температуре деталей и превышающей температуру обработки по режимам Т5 и Т6

Продолжение табл. 17

Термическая обработка	Обозначение режима термической обработки	Назначение	Примечание
Закалка и смягчающий отпуск	Т8	Получение повышенных пластичности и стабильности геометрических размеров вследствие снижения прочностных характеристик по сравнению с получаемыми при обработке по режимам Т5 и Т7	Температура старения при этом режиме выше, чем при режиме Т7

а затем этот механизм пластической деформации сменяется механизмом ползучести, приводящим к постепенной, затухающей во времени релаксации напряжений.

В результате отжига в отливках уменьшаются остаточные растягивающие напряжения, особенно опасные при объемно-напряженном состоянии (что позволяет повысить допустимые внешние нагрузки на детали в процессе эксплуатации), повышается сопротивляемость усталости и ударным нагрузкам, снижается склонность к хрупкому разрушению, межкристаллитной коррозии, стабилизируются размеры и предотвращается коробление и поводка деталей.

Закалка (режим Т4) литейных алюминиевых сплавов происходит без полиморфных превращений и состоит в фиксации при более низкой температуре состояния сплава, характерного для более высокой температуры. Интервал закалочных температур определяется точками равновесного солидуса и предельной растворимости в твердом состоянии. В качестве закалочной среды при термической обработке отливок из алюминиевых сплавов обычно применяют воду, нагретую до 20—100 °С.

В зависимости от требований, предъявляемых к деталям, можно применять *либо резкую* закалку в холодной воде и масле, либо в горячих средах. Отливки из алюминиево-магниевых сплавов закаливают в воде, нагретой до температуры не ниже 80 °С. При более низкой температуре воды возникает опасность появления закалочных трещин.

При закалке литейных алюминиевых сплавов образуется пересыщенный твердый раствор. Из-за большей легированности матричного раствора прочность сплавов возрастает. Ввиду полного или частичного перевода в твердый раствор грубых и хрупких включений избыточной фазы, например интерметаллидов, в результате закалки повышается также пластичность сплавов.

Основное назначение закалки — подготовка литейных алюминиевых сплавов к последующему искусственному старению. Однако для алюминиево-магниевых сплавов марок АЛ8, АЛ27-1, АЛ 23-1, АЛ23 закалка служит окончательной термической обработкой для придания деталям необходимого комплекса свойств. Однофазные закаленные сплавы в данном случае обладают значительно большей пластичностью и более высокой стойкостью против коррозии, чем после искусственного старения.

При закалке с последующим искусственным старением (режимы Т5 и Т6) происходит процесс распада пересыщенного твердого раствора, обусловливающий высокое дисперсионное твердение литейных алюминиевых сплавов

и получение деталей высокой прочности. Распад твердого раствора при искусственном старении протекает в несколько стадий. Сразу после закалки (а у некоторых сплавов — даже в процессе закалочного охлаждения) в пересыщенном твердом растворе образуются скопления атомов легирующих элементов — кластеров, рассеивающих электронные волны. Вначале размер кластеров очень мал, и структурные методы их не выявляют. Через некоторое время кластеры вырастают настолько, что они вызывают дифракционные дефекты на рентгенограммах и электронограммах при просвечивании фольги. Кластеры, обнаруживаемые структурными методами, называют зонами Гинье—Престона (сокращенно — зоны ГП), которые имеют ту же решетку, что и матричный раствор, деформированную из-за различия в диаметрах атомов растворенного вещества и растворителя. Зоны ГП относят ко второй фазе, находящейся в метастабильном равновесии с матричным раствором. В процессе искусственного старения сплавов зоны ГП переходят в промежуточные, а затем в стабильные фазы.

Максимальный эффект упрочнения алюминиевых сплавов достигается на «зонной» стадии старения и на стадии выделения промежуточной фазы.

Закалка с последующим стабилизирующим старением (режим Т7) приводит к перестариванию сплава, в результате которого происходит большая степень распада твердого раствора и большая коагуляция выделений, чем при старении по режимам Т5 и Т6. Целью стабилизирующего старения является обеспечение стабильных структуры, свойств и размеров деталей. Детали, предназначенные для длительной службы при повышенных температурах, подвергают отпуску при температуре более высокой, чем рабочей. В противном случае при эксплуатации изделия в нем будут активно протекать структурные изменения, приводящие к разупрочнению и нестабильности свойств.

Закалка с последующим смягчающим отпуском (режим Т8) вызывает значительную коагуляцию частичек вторых фаз, образовавшихся при распаде твердого раствора. За счет процесса коагуляции фаз-упрочнителей уменьшается прочность при существенном возрастании пластичности по сравнению с этими же свойствами деталей, прошедших искусственное старение по режимам Т5 и Т6.

Рекомендуемые режимы термической обработки стандартных и новых литейных алюминиевых сплавов приведены в табл. 18. Для нагрева под закалку отливок из сложнолегированных сплавов рекомендуется применять ступенчатые режимы, обеспечивающие постепенный переход фаз-упрочнителей в твердый раствор.

Одним из перспективных методов термической обработки цветных сплавов является термоциклическая обработка (ТЦО). При ТЦО отсутствует выдержка при постоянной температуре нагрева, а на металл оказывается многократное (до 10—15 раз) воздействие изменения температуры при нагревах и охлаждениях. С помощью ТЦО у сплавов типа силумина значительно улучшаются механические свойства как прочностные, так и пластические. При изготовлении высокоточных деталей приборов из сплава АЛ2 после отжига по режиму Т2 детали дополнительно подвергают стабилизирующей термической обработке (ТЦО), состоящей из чередующихся циклов охлаждения до минусовой температуры с последующими нагревами.

Нижняя температура цикла при ТЦО составляет —40÷—190 °С и должна на 10—20°С быть ниже самой низкой температуры эксплуатации изделия, в которое входит данный узел. Верхняя температура цикла должна на 20—30°С превышать температуру эксплуатации детали и должна быть не ниже 80—100 °С. Для стабилизации достаточно проведения трех циклов. Обработка заканчивается нагревом деталей до верхней температуры цикла.

ТЦО может являться частью технологического цикла изготовления деталей, а также применяется для снятия напряжений в уже собранных узлах, детали которых могут быть изготовлены из различных по составу материалов и иметь разные по сложности сечения.

В табл. 19 приведены типовые схемы технологических процессов для высо-

18. Режимы термической обработки литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Термообработка	Способ литья	Закалка в воде			Старение (отжиг)		
			$t_{нагр}$, °С	τ, ч	$t_{охл}$, °С	t, °С	τ, ч	Охлаждающая среда
АЛ1	Т5	П, О, В, К	515±5	2—5	20—100	175±5	3—5	Воздух
	Т7	П, О, В, К	515±5	2—5	20—100	230±10		
АЛ2	Т2	П, О, В, К, Д	—	—	—	375±5 300±10 200±20	2—4	Воздух
АЛ2М	Т6	П, О, В, К	505±5 (I) 515±5 II)	2 4	— —	—	—	—
			525±5 (III)	10	20—30	165±5	10—12	Воздух
АЛ3	Т1	П, О, В, З	—	—	—	175±5	3—5	Воздух
	Т2	П, О, В, К	—	—	—	300±10	2—4	Воздух или охлаждение с печью
АЛ3, АК5М2	Т5	П, О, В, К	515±5 515±5 (I) 525±5 (II)	3—6 2—4 2—4	20—100 — 20—100	175±5 — 175±5	3—5 — 3—5	Воздух — Воздух
АЛ3	Т7	П, О, В, К	515±5 515±5 (I) 525±5 (II)	3—6 2—4 2—4	20—100 — 20—100	230±10 — 230±10	3—5 — 3—5	Воздух — Воздух
АЛ3, АК3М2	Т8	П, О, В	515±5 515±5 (I) 525±5 (II)	3—6 2—4 2—4	20—100 — 20—100	330±5 — 330±5	3—5 — 3—5	Воздух — Воздух

Продолжение табл. 18

Марка сплава	Термообработка	Способ литья	Закалка в воде			Старение (отжиг)		
			$t_{нагр}$, °С	τ, ч	$t_{охл}$, °С	t, °С	τ, ч	охлаждающая среда
АЛ3М	Т6	П, О, В, К	465±5 (I) 490±5 (II)	6 6	—	—	—	—
			505±5 (III)	10	20—100	150±5	10—12	Воздух
АЛ4, АЛ4-1	Т1	К, Д	—	—	—	175±5	5—17	
АЛ4, АЛ4-1, АК9	Т6	П, О, В, К	535±5	2—6	20—100	175±5	10—15	
АЛ4, АЛ4-1	Т6	П, О, В, К	535±5	30—40 мин	50—100	195±5 180±5	30 мин 2	Вода (50—100 °С) Воздух
АЛ5	Т1	П, О, В, К	—	—	—	180±5	5—10	Воздух
	Т5	П, О, В, К	525±5 515±5 (I) 525±5 (II)	3—5 3—5 1—3	20—100 — 20—100	175±5 — 175±5	5—10 — 5—10	Воздух — Воздух
	Т6	П, О, В, К	525±5 515±5 (I) 525±5 (II)	3—5 3—5 1—3	20—100 — 20—100	200±5 — 200±5	3—5 — 3—5	Воздух — Воздух
	Т7	П, О, В, К	525±5 515±5 (I) 525±5 (II)	3—5 3—5 1—3	20—100 — 20—100	230±10 — 230±10	3—5 — 3—5	Воздух — Воздух
АЛ5-1	Т1	П, О, В, К	—	—	—	180±5	5—10	Воздух
	Т5	П, О, В, К	525±5 515±5 (I) 525±5 (II)	3—10 3—7 3—7	20 — 20	175±5 — 175±5	5—10 — 5—10	Воздух — Воздух
	Т7	П, О, В, К	525±5 515±5 (I) 525±5 (II)	3—10 3—7 2—5	20—100 — 20—100	230±10 — 230±10	3—5 — 3—5	Воздух — Воздух

Продолжение табл. 18

Марка сплава	Термообработка	Способ литья	Закалка в воде			Старение (отжиг)		
			$t_{нагр}$, °С	τ, ч	$t_{охл}$, °С	t, °С	τ, ч	охлаждающая среда
АК5М7	Т1	П, К	—	—	20—100	180±5	3—5	Воздух
АЛ7	Т4	П, О, В, К	515±5	10—15	80—100	—	—	—
	Т5	П, О, В, К	515±5	10—15	80—100	150±5	2—4	Воздух
	Т7	П, О, В, К	515±5 (I)	3—5	—	—	—	—
			525±5 (II)	1—3	20—100	230±5	3—5	Воздух
АЛ7-3	Т6	П, О, В, К	440±5 (I)	2	—	—	—	—
			460±5 (II)	2	—	—	—	—
			490±5 (III)	8	60—70	110±5	10	Воздух
АЛ8	Т4	П, О, В, К	430±5	12—20	40—50 *1	—	—	—
АЛ9	Т2	П, О, В, К, Д	—	—	—	300±10	2—4	Воздух или охлаждение с печью
АЛ9, АЛ9-1	Т2	П, О, В, К	—	—	—	370—380	2—4	Воздух
	Т4	П, О, В, К	535±5	2—6	20—100	—	—	
АЛ9, АК7	Т5	П, О, В, К	535±5	2—6	20—100	150±5	1—3	Воздух
						190±10 (I)	0,5	—
						150±5 (II)	2	Воздух
АЛ9	Т6	П, О, В, К	535±5	2—6	20—100	200±5	2—5	Воздух
	Т7				80—100	225±10	3—5	
	Т8				80—100	250±10	3—5	
АЛ9-1	Т2	П, О, В, К, Д	—	—	—	250±10	2—4	Воздух или охлаждение с печью
	Т4	П,О, В,К	535±5	2—12	20—50	—	—	—
	Т5				20—50	150±5	3—10	Воздух
	Т6				20—50	175±5	3—10	
	Т7				80—100	225±10	3—5	
	Т8				80—100	250±10	3—5	

Продолжение табл. 18

Марка сплава	Термообработка	Способ литья	Закалка в воде			Старение (отжиг)		
			$t_{нагр}$, °С	τ, ч	$t_{охл}$, °С	t, °С	τ, ч	Охлаждающая среда
АЛ19	Т4	П, О, В, К	545^{+3}_{-5}	10—15	20—100	—	—	—
			530±5 (I)	5—9	—			
			545^{+3}_{-5} (II)	5—9	20—100			
	Т5	П, О, В, К	545^{+3}_{-5}	10—15	20—100	175±5	3—6	Воздух
			530±5 (I)	5—9	—	—	—	—
			545^{+3}_{-5} (II)	5—9	20—10	175±5	3—6	Воздух
	Т7	П	545^{+3}_{-5}	10—12	80—100	250±10	3—10	Воздух
			530±5 (I)	5—9	—	—	—	—
			545^{+3}_{-5} (II)	5—9	80—100	250±10	3—10	Воздух
АЛ21	Т2 Т7	П, О, В	—	—	—	300±10	5—10	Воздух
			300—500 (I)	2	—	—	—	—
			500±5 (II)	2	—	—	—	—
			525±5 (III)	2—5	80—100	300±10	3—10	Воздух
АЛ22	Т4	П, О, В, К	425±5	15—20	100 *2	—	—	—
АЛ23	Т4	П, О, К	435±5	20	80—100	—	—	—
			435±5 (I)	4	—	—	—	—
			460±5 (II)	4	80—100	—	—	—
АЛ23-1	Т4	П, О, К	435±5	16—20	95—100	—	—	—
			435±5 (I)	4	—	—	—	—
			460±5 (II)	4	95—100	—	—	—

Продолжение табл. 18

Марка сплава	Термообработка	Способ литья	Закалка в воде			Старение (отжиг)		
			$t_{нагр}$, °С	τ, ч	$t_{охл}$, °С	t, °С	τ, ч	Охлаждающая среда
АЛ24	Т1	П, О, В	—	—	—	200±5		
	Т5		580±5	4—6	100	120±5	8—10	Воздух
	Т5-1		580±5	4—6	Воздух	120±5		
АЛ24	Т6	П, О, В	500±5 (I)	1—5	—	—	—	—
			580±5 (II)	1—5	90—100	150±5	8—16	Воздух
АЛ25	Т1	К	—	—	—	210±10	10—12	Воздух
АЛ27, АЛ27-1	Т4	П, О, К, Д	435±5	20	90—100	—	—	—
			435±5 (I)	4	—	—	—	—
			460±5 (II)	4	90—100	—	—	—
АЛ30	Т1	К	—	—	—	200±5	10—12	Воздух
АЛ32	Т1	П, К	—	—	—	200±10		
	Т1	Д	—	—	—	180±5	5—8	Воздух
	Т2	Д	—	—	—	280±10		
	Т5	П, К	505±5 (I)	4—6	—	—	—	—
			515±5 (II)	4—8	20—100	150±5	10—15	Воздух
	Т6	П, К	515±5	2—8	20—50	170±5	8—16	Воздух
			505±5 (I)	4—6	—	—	—	—
			515±5 (II)	4—8	20—100	170±5	8—16	Воздух
	Т7	П, К	505±5 (I)	4—6	—	—	—	—
			515±5 (II)	4—8	100	230±5	3—5	Воздух
ВАЛ10	Т6	П, К	535±5 (I)	5—9	—	—	—	—
			545^{+3}_{-5} (II)	5—9	20—100	200±5	10—16	Воздух

Продолжение табл. 18

Марка стали	Термообработка	Способ литья	Закалка в воде			Старение (отжиг)		
			$t_{нагр}$, °С	τ, ч	$t_{охл}$, °С	t, °С	τ, ч	Охлаждающая среда
АЛ33	Т4	П, К	545±5	10—12	20—100	—	—	—
			535±5 (I)	7—9	—	—	—	—
			545±5 (II)	7—9	20—100	—	—	—
	Т5	П, К	545±5	10—12	20—100	175±5	3—6	Воздух
			535±5 (I)	7—9	—	—	—	—
			545±5 (II)	7—9	20—100	175±5	3—6	Воздух
	Т6	П, К	545±5	10—12	20—100	225±10	3—10	Воздух
			535±5 (I)	7—9	—	—	—	—
			545±5 (II)	7—9	20—100	225±10	3—10	Воздух
АЛ33	Т7	П, К	545±5	10—12	20—100	250±10	3—6	Воздух
			535±5 (I)	7—9	—	—	—	—
			545±5 (II)	7—9	20—100	250±10	3—6	Воздух
АЛ34	Т4	П, К	535±5	10—16	20—100	—	—	—
	Т5					175±5	6—8	Воздух

*[1] Закалка в масле.
*[2] Или закалка в масле при 40—50 °С.

Примечания: 1. I—III — ступени нагрева.

2. Двухступенчатый нагрев под закалку для сплавов АЛ3, АЛ5, АЛ19, АЛ32, АЛ33 рекомендуется применять при наличии массивных (более 40 мм) участков в деталях во избежание пережога.

3. Для уменьшения внутренних напряжений крупногабаритные сложные по конфигурации детали рекомендуется закалить в воде при 80—100 °С.

4. При необходимости получения более высокой (на 10—15 %) прочности деталей из сплавов АЛ4 и АЛ9-1 допускается повышение температуры под закалку до 545_{-5} °С при обязательном снижении содержания железа до 0,1—0,2 % и марганца в сплаве АЛ4 до 0,25—0,35 %.

5. Оптимальные механические свойства сплава АЛ9-1 (режим Т5) обеспечиваются соблюдением перерыва между закалкой и искусственным старением в течение 1—3 ч.

19. Схемы типовых технологических процессов для высокоточных деталей из литейных сплавов (ГОСТ 17535—72)

Последовательность операций	Схема процесса для деталей категории сложности		
	1	2	3
1	Получение отливки		
2	Термическая обработка по режиму 1*		
3	Обработка резанием с оставлением припуска до 0,5 мм на сторону для наиболее точных размеров	Предварительная обработка резанием с оставлением припуска до 2,0 мм	
4	Отделочная операция (гальваническое или лакокрасочное покрытие)	Термическая обработка по режиму 2 *	
5	Окончательная обработка резанием	Обработка резанием с оставлением припуска до 0,5 мм на сторону для наиболее точных размеров	
6	—	Отделочная операция (нанесение гальванического или лакокрасочного покрытия)	Термическая обработка по режиму 3*
7	—	Окончательная обработка резанием	Отделочная операция (нанесение гальванического или лакокрасочного покрытия)
8	—	—	Окончательная обработка резанием
9	—	—	Термическая обработка по режиму 4 *

* Режимы термической обработки 1—4 для сплава АЛ2 приведены в табл. 20.

20. Режимы стабилизирующей термической обработки сплава АЛ2, применяемые при изготовлении высокоточных деталей (ГОСТ 17535—72)

Номер режима	Наименование режима	Температура нагрева или охлаждения, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
1	Отжиг	270—290	3—5	Воздух
2	»	270—290	6—10	С печью до 150 °С, далее — на воздухе
3	ТЦО	—40÷(—190) *1 80—150	0,5—1,0 *2 1—2	Воздух или жидкость Воздух или жидкость, при третьем цикле — воздух
4	Стабилизирующее старение	115—125	3—5	Воздух

*1 Цикл охлаждение — нагрев повторить последовательно 3 раза.
*2 Время выдержки при нижней предельной температуре устанавливается при обработке в жидкости.

коточных деталей; в табл. 20 — режимы их стабилизирующей термической обработки.

Для термической обработки отливок из алюминиевых сплавов применяют воздушно-циркулярные агрегаты, рециркуляционные установки типа ПАП, а также шахтные печи с принудительной циркуляцией; их технические характеристики приведены в табл. 21.

В отечественных нагревательных установках типа ПАП (печи аэродинамического подогрева) применяют принципиально новый метод нагрева. Генератором тепла в таких установках служит ротор центробежного вентилятора с профилированными лопатками.

Нагрев осуществляется за счет механической энергии вентилятора, создающего поток воздуха, движущегося с большой скоростью в замкнутом объеме. Передача тепла отливкам протекает по принципу чисто конвективного теплообмена, что обеспечивает высокую равномерность температуры [±(1—5) °С] по всему объему печи и более быстрый (по сравнению с другими методами нагрева) нагрев изделий.

Чаще всего для термической обработки отливок из алюминиевых сплавов применяют ПАП-3М, который полностью механизирован, а процесс закалки в нем автоматизирован. Печь ПАП-4М предназначена для отжига и искусственного старения отливок из алюминиевых сплавов.

Термическая обработка отливок из магниевых сплавов. Характерной особенностью термической обработки отливок из магниевых сплавов являются сравнительно длительные режимы выдержки при температуре нагрева под закалку и при старении, что вызвано медленным протеканием диффузионных процессов у магниевых сплавов. Сплавы, обладающие мелкозернистой структурой, требуют меньшего времени выдержки при нагреве под закалку для перевода различных фаз в твердый раствор, чем сплавы с грубозернистой структурой. На продолжительность термической обработки сильно влияет содержание основных легирующих компонентов. С повышением содержания Al в сплавах системы Mg—Al—Zn резко увеличивается время для перевода фазы Mg_4Al_3

21. Техническая характеристика оборудования для термической обработки отливок из алюминиевых сплавов

Модель	Размеры рабочего пространства, мм			t_{max}, °С	Δt, °С	Масса осадки, кг	Мощность, кВт	Габаритные размеры агрегата или печи, мм			Масса, кг
	b	*l*	*h*					*b*	*l*	*h*	
Воздушно-циркуляционные агрегаты											
ЭТА-2 (9-6087)	1080	3 080	1150	550	±5	250	120	6 600	6 370	5 900	—
ЭТА-6 (9-5390)	1050	6 300	2250			500	360	7 900	10 290	8 710	—
ЭТА-10 (9-5939)	1800	11 100	5700			3000	1567	14 200	16 000	12 300	—
Рециркуляционные агрегаты типа ПАП											
ПАП-11.30.14/5,5 (ПАП-3М)	1100	3000	1400	550	±5	500	65	2150	7260	6470	—
ПАП-14,5.12.5.20/5,5 (ПАП-4М)	1450	1250	2000			300	28		3670	2990	—
Шахтные печи с принудительной циркуляцией											
СШЗ-6.6/7 М2	d =	600	600	700	—	600	37,2	1735	1835	3345	2310
СШЗ-6.12/7 М1	= 600	1200	1200			900	52,2				
СШЗ-6.20/7 М1		2000	2000			1200	72,2	1835	1735	3935	3000
СШЗ-6.30/7 М1		1000	3000			1600	107,2	2115	2600	5213	4100
СШЗ-10.10/7 М3	1000		—		±5	1100	85	1835	1735	5730	4620
СШЗ-15.30 7/М01	1500	3000				6000	197,2	4975	5868	6335	8500
Камерная электропечь с принудительной циркуляцией											
СНО-7.6.3.10/6И1	630	700	1000	600	±5	230	26	1700	1070	1890	950

Примечание. *b*, *l* и *h* — соответственно ширина, длина и высота; t_{max} — максимальная температура в печи; Δt — допустимые отклонения от рабочей температуры.

22. Виды и назначение термической обработки, применяемой для отливок из магниевых сплавок

Термическая обработка (ее обозначение)	Область применения
Старение из литого состояния с охлаждением на воздухе (Т1)	Повышение механических свойств ($\sigma_в$ и $\sigma_{0,2}$) отливок из сплавов МЛ12, МЛ15; снижение внутренних напряжений. Для отливок из сплавов МЛ2, МЛ3 и МЛ7-1, а также для отливок из сплавов МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6, если они не подвергаются упрочняющей термической обработке
Отжиг с охлаждением на воздухе (Т2)	
Закалка с охлаждением на воздухе (Т4)	Повышение механических ($\sigma_в$) и пластических ($\delta_и = a_н$) свойств сплавов МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6 и МЛ11. Вследствие малой скорости диффузионных процессов в качестве охлаждающей среды обычно используется спокойный воздух. Для повышения механических свойств охлаждение отливок проводят в струе воздуха (обдувка сжатым воздухом)
Закалка с охлаждением на воздухе и последующее старение (Т6)	Повышение механических ($\sigma_в$) и особенно упругих ($\sigma_{0,2}$) свойств (пластические свойства снижаются) сплавов МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, Мл5он, МЛ6, МЛ8, МЛ9, МЛ10, МЛ11 и ВМЛ6. Значительное увеличение $\sigma_в$ и $\sigma_{0,2}$ достигается при закалке отливок в струе сжатого воздуха
Закалка с охлаждением в горячую воду и последующее старение (Т61)	Максимальное повышение механических свойств ($\sigma_в$ и $\sigma_{0,2}$) сплавов МЛ6, МЛ8 и ВМЛ6

в твердый раствор. Сплавы системы Mg—Zn—Zr требуют меньшего времени для перевода вторых фаз в твердый раствор Mg—Al—Zn.

Величина зерна в отливках из магниевых сплавов в значительной мере определяется толщиной стенок отливок и применяемым способом литья. Чем массивнее отливка и меньше скорость охлаждения, тем грубее зерно. Поэтому при назначении режимов термической обработки отливки разбивают на группы в зависимости от способа литья, габаритных размеров отливок и толщины их стенок. Например, для сплавов МЛ5, МЛ5пч и МЛ5он группу I составляют отливки с толщиной стенок до 20 мм, имеющие массивные части толщиной или диаметром до 40 мм, захоложенные холодильниками (если массивные части не захоложены, то отливку относят ко II группе); к группе II относят отливки с толщиной стенок более 20 мм или имеющие массивные части толщиной более 40 мм; к группе III — все отливки, полученные литьем в кокиль и под давлением.

Вследствие медленного протекания диффузионных процессов закалка многих сплавов может быть проведена в спокойном воздухе. Однако при закалке в струе воздуха (сжатым воздухом) и особенно в подогретой до 80—90 °С воде значительно повышаются $\sigma_в$ и $\sigma_{0,2}$ (особенно предел текучести).

Классификация режимов термической обработки магниевых сплавов приведена в табл. 22.

Наиболее ответственным видом термической обработки является закалка, так как нагрев проводят при температурах, близких к началу оплавления, в связи с чем возрастает опасность окисления и загорания отливок. Детали под закалку нагревают в среде, содержащей сернистый газ, что снижает реакционную способность

кислорода по отношению к магнию.

Двух- или трехступенчатый нагрев под закалку снижает возможность оплавления и пережога отливок в начале нагреза (до перевода всех наиболее легкоплавких составляющих сплава в твердый раствор), поэтому он может быть рекомендован как преимущественный, особенно в тех случаях, когда скорость подъема температуры печи высока ч перепады температуры в печи более ±5 °С. При одноступенчатом нагреве рекомендуется, чтобы время нагрева под закалку не было меньше 2—3 ч.

Наиболее распространенные режимы термической обработки отливок из магниевых сплавов приведены в табл. 23. Для термической обработки отливок из магниевых сплавов применяют камерные, шахтные и методические печи. Наиболее совершенными являются печи типа ПАП, обеспечивающие перепад температур в печи не более ±2 °С, что позволяет снизить длительность нагрева и соответственно повысить температуру нагрева под закалку до максимально возможной. Это способствует более быстрому переходу вторых фаз в твердый раствор.

С учетом склонности магниевых сплавов к окислению при повышенных температурах к печам для высокотемпературного нагрева предъявляются следующие требования: максимальные перепады температур по зонам печи не должны превышать ±5 °С, печи должны быть оборудованы экранами, чтобы не допускать прямого нагрева отливок (путем лучеиспускания), и устройствами, позволяющими применять защитную атмосферу в рабочем пространстве (т. е. печи должны обладать герметичностью и не иметь подсоса воздуха).

Технические характеристики некоторых типов нагревательных печей, применяемых для термической обработки отливок из магниевых сплавов, приведены в табл. 24.

Термическая обработка отливок из тяжелых цветных сплавов. Отливки из большинства тяжелых цветных сплавов перед сдачей заказчику не подвергают термической обработке. В ряде случаев для снятия остаточных термических напряжений отливки отжигают. Для отливок из оловянных бронз отжиг ведут при 650—800 °С с выдержкой в течение 2—2,5 ч и охлаждением с печью до 300—350 °С. Отливки из кремнистой латуни отжигают при 750—760 °С с выдержкой в течение 1,5—2 ч и охлаждением с печью до 250—300 °С. Отливки из сложнолегированных медно-никелевых сплавов подвергают упрочняющей термической обработке — закалке при 850—900 °С и отпуску при 400—500 °С в течение 10—12 ч.

Виды брака при термической обработке и методы борьбы с ним. При термической обработке наиболее часто встречаются следующие виды брака: коробление и образование трещин в деталях; неполная закалка; неравномерная закалка; пережог.

Коробление и растрескивание деталей являются следствием возникновения напряжений в отливках в процессе литья или термической обработки. На возникновение напряжений и их величину влияют природа сплава, фазовые превращения, сложность конфигурации и разностенность деталей, неравномерный и быстрый нагрев под закалку, резкое охлаждение, неправильная укладка деталей в термическую печь и т. д.

Если остаточное напряжение превышает предел текучести сплава, то оно проявляется в остаточной пластической деформации (коробление отливок); если остаточное напряжение превышает предел прочности сплава, то в отливках появляются трещины.

Для предотвращения образования трещин и коробления необходимо: применять равномерный и медленный нагрев деталей под закалку; увеличить радиус закругления в переходных местах стенок деталей; добиваться перераспределения внутренних напряжений, изменяя сечения стенок деталей или используя ребра жесткости; применять соответствующие поддоны для нагрева и закалки деталей.

Неполная закалка может быть вызвана недостаточной выдержкой или пониженной температурой нагрева, а также пониженной скоростью охлаждения. Грубая литая структура, неравномерное распределение вторых фаз, а также усадочная и газовая пористость оказывают сильное влияние на

23. Режимы термической обработки литейных магниевых сплавов

Марка сплава	Термическая обработка [*1]	Закалка			Старение (отжиг)	
		$t_{нагр}$ [*2], °С	τ, ч	$t_{охл}$, °С	$t_{нагр}$, °С	τ, ч
МЛ4, МЛ4пч	Т2	—	—	—	350	2—3
	Т4	380	8—16	Воздух	—	—
	Т6	380	8—16	»	175	16
МЛ5 МЛ5пч	Т2 (I) Т4 (I)	— 415	— 12—24	— Воздух	350 —	2—3 —
МЛ5он	Т6 (I)	415	12—24	»	175	10
	Т4 (II)	I) 360 II) 420	3 21—29	— Воздух	— —	— —
	Т6 (II)	I) 360 II) 420	3 21—29	— Воздух	— 175 200	— 16 8
	Т4 (III) Т6 (III)	415 415	8—16 8—16	— Воздух	— 175 или 200	— 16 или 8
МЛ6	Т4	I) 360 II) 410	3 21—29	— Воздух	— —	— —
	Т6	I) 360 II) 410	3 21—29	— Воздух	— 190	— 4—8
	Т61	I) 360 II) 410	3 21—29	— Вода 80—90	— 190	— 4—8
МЛ8	Т6	I) 420 II) 490	1—3 5	— Обдувка воздухом	— 165	— 24
	Т61	I) 420 II) 490	1—3 5	— Вода 80—90	— 165	— 24
МЛ9	Т6	540	8—12	Обдувка воздухом	200	6—12
МЛ10	Т6	540	8—12	Обдувка воздухом	205	12—18
	Т61	545	4—8	Вода 80—90		8—12
МЛ11, МЛ12 МЛ15	Т1 Т1	— —	— —	— —	300	4—6 2—6

Продолжение табл. 23

Марка сплава	Термическая обработка *1	Закалка			Старение (отжиг	
		$t_{нагр}$ *2, °С	τ, ч	$t_{охл}$,	$t_{нагр}$, °С	τ, ч
МЛ17	Т61	I) 435 II) 350	4—20 6	Вода 80—90 или масло 20—30	155	24—50
	Т6	435	4—20	Обдувка воздухом	155	24—50
МЛ19	Т61	I) 400 II) 425	1—3 8	Обдувка воздухом	130	48
	Т6	535	4—8	Воздух	205	8

*1 (I), (II), (III) — группы отливок.
*2 I) II) — ступени нагрева.

24. Технические характеристики печей для термической обработки отливок из магниевых сплавов

Вид термической обработки	Тип печей	Способ нагрева	Атмосфера печи	Характеристика печей
Отжиг (Т2)	Шахтная камерная методическая	Любой (наиболее широко применяют электропечи сопротивления)	Воздух	Перепад температур в рабочей зоне не более ±5 °С
Закалка (Т4)	То же	Электрический (печи сопротивления)	Воздух с добавлением 0,5—1,5 % SO_2 (возможна среда аргона, азота или CO_2)	Перепад температур в рабочих зонах не более ±5 °С. Для обеспечения постоянства температур рекомендуется установка внутри печи экранов и вентиляторов
Закалка (Т6, Т61)	Рециркуляционная типа ПАП	Использование механической энергии вентилятора, создающего поток воздуха или газа, движущегося с определенной скоростью по замкнутой траектории	То же	Печь герметизирована и обеспечивает перепад температур ±2 °С

эффективность термической обработки. Для ликвидации дефекта этого рода необходима повторная термическая обработка.

Неравномерная закалка — результат неравномерного прогрева и неравномерного охлаждения деталей. При этом тонкие сечения деталей имеют высокие механические свойства; утолщенные сечения — пониженные. Для устранения этого вида брака необходимо отливки подвергать повторной термической обработке, обеспечивая равномерный прогрев всей детали, более длительную выдержку при гомогенизации и более быстрое охлаждение при закалке.

Если при гомогенизации температура превышает допустимые значения, то происходит частичное оплавление эвтектики, вызывающее, в крайнем случае, появление бугорков на поверхности детали. Этот дефект называют *пережогом*. Микроструктура сплавов после пережога характеризуется укрупненными зернами твердого раствора, окисленными границами зерен и наличием вторичных выделений.

Пережог можно также обнаружить при механических испытаниях контрольных образцов, поскольку такие образцы имеют пониженную пластичность. Пережог приводит к понижению механических свойств сплавов.

Помимо превышения температуры нагрева под закалку пережог может явиться результатом неравенства температуры в разных зонах печи или наличия большого числа массивных мест в деталях.

Для предотвращения пережога необходимо: периодически измерять температуру в разных зонах печи и не допускать ее повышения сверх допустимого предела; сложные по конфигурации детали нагревать медленно, со скоростью, примерно равной 3 °С/мин, чтобы обеспечить равномерность фазовых превращений во всех частях деталей и, наконец, ввести режим ступенчатого нагрева под закалку.

3. Защита отливок от коррозии

Отливки из цветных сплавов в той или иной степени подвержены коррозии. Поэтому они нуждаются в противокоррозионной защите. Защите от коррозии могут подвергаться как окончательно механически обработанные отливки, так и не подвергнутые механической обработке отливки, предназначенные для длительного хранения на складе (межоперационное хранение) или для транспортирования заказчику. Противокоррозионная защита обеспечивается нанесением на поверхность отливок металлических, лакокрасочных или комбинированных (металлополимерных) покрытий, состоящих из двух раздельно наносимых слоев — металлизационного и полимерного.

Металлические покрытия наносят, используя гальванические и химические (хромирование, никелирование и другие виды) процессы, а также применяя специальные методы напыления. Наиболее часто покрытие наносят газотермическим и электродуговым способом.

По доступности, технологическим и эксплуатационным свойствам наибольшее распространение получили различные виды лакокрасочных покрытий, однако их адгезия к поверхностям отливок из цветных сплавов хуже, чем к поверхностям отливок из черных сплавов.

Для улучшения адгезии, создания пористых оксидных пленок и повышения долговечности защитного покрытия поверхность отливок из цветных сплавов должна быть соответствующим образом подготовлена (табл. 25). От качества подготовки поверхности отливок под покрытия в значительной степени зависит эффективность их антикоррозионной защиты. Технические требования к качеству подготовки поверхности и технология подготовки поверхности литых деталей перед окрашиванием приведены в ГОСТ 9.402—80.

Подготовка отливок к нанесению покрытий состоит в очистке ее поверхностей, обезжиривании и электрохимической или химической обработке. Поверхности отливок очищают механическими, химическими, термическими и другими способами.

Алюминиевые отливки перед окраской подвергают хроматированию, фосфатированию или электрохимическому (анодному) оксидированию (ГОСТ 9.305—84).

25. Коррозионная стойкость цветных сплавов и основные методы подготовки поверхности под окраску

Сплавы или металлы	Методы подготовки поверхности	Коррозионная стойкость сплавов в атмосферных условиях
Алюминиевые	Хроматирование или электролитическое оксидирование	Удовлетворительная
Магниевые	То же	Слабая
Медные	Травление с последующим пассивированием	Высокая
Титановые	Гидропескоструйная обработка или травление	»
Цинковые	Хроматирование	Слабая
Олово	Зачистка поверхности мелкой абразивной шкуркой пористого оловянного электролитического покрытия	Хорошая
Свинец	Зачистка поверхности мелкой абразивной шкуркой	Достаточно высокая

Для ответственных отливок чаще всего используют анодное оксидирование (обычно в сернокислом электролите), так как по защитным и прочностным свойствам анодные оксидные пленки алюминиевых сплавов превосходят хроматные и фосфатные. Кроме того, эти покрытия хорошо адсорбируют красители, поддаются окраске в различные цвета, имеют красивый внешний вид и могут применяться как самостоятельные покрытия. Вместе с тем химические методы обработки поверхности (хроматирование и фосфатирование) отличаются простотой проведения процесса, высокой экономичностью при достаточно хорошей противокоррозионной защите (особенно метод хроматирования).

Магниевые отливки, защитные свойства оксидной пленки которых значительно ниже, чем оксидной пленки алюминиевых сплавов, подвергаются химической очистке, в результате чего на их поверхности создаются хроматные пленки. Вследствие малой продолжительности оксидирования магниевых сплавов получение равномерной хроматной пленки возможно только при условии хорошо подготовленных поверхностей. Поэтому отливки из магниевых сплавов особенно тщательно очищают, обезжиривают и подготавливают по специальной технологии (табл. 26). Порядок выполнения операций по очистке и подготовке поверхности отливок следующий: обезжиривание, промывка в горячей, а затем холодной воде; травление; кипячение в содовом растворе; промывка в теплой воде; обработка в растворе хромового ангидрида; промывка в теплой воде; оксидирование; промывка в холодной, а затем горячей воде; сушка.

Улучшение адгезии покрытий к поверхности отливок из медных и цинковых сплавов также может быть обеспечено путем химического оксидирования. Составы и режимы оксидирования поверхности отливок из магниевых, медных и цинковых сплавов приведены в табл. 27.

После подготовки поверхности на отливки наносят предусмотренные чертежом детали покрытия. Процесс нанесения лакокрасочных покрытий состоит из следующих основных операций:

нанесения грунта, основное назначение которого — создание прочной связи между окрашиваемой поверхностью и последующими лакокрасочными слоями, а также обеспечение высокой защитной способности покрытия;

шпатлевания для выравнивания загрунтованной поверхности отливки;

шлифования, служащего для устранения неровностей и получения требуемой шероховатости поверхности;

окраски загрунтованной и зашпатлеванной поверхности эмалями и сушки.

В зависимости от материала отливки, ее назначения и предъявляемых

26. Методы очистки и подготовки поверхности магниевых отливок

Операции	Назначение	Основные компоненты	Концентрация, кг/м³	Температура раствора, °С	Время обработки, мин
Обезжиривание	Удаление следов жира и масла. Обеспечение смачивания поверхности детали оксидировочными растворами	1. Тринатрийфосфат Едкий натр Жидкое стекло	40—60 10—25 20—30	60—90	4—5
		2. Едкий натр Жидкое стекло	80—100 5—15		5—15
Травление	Очистка поверхности отливок и удаление загрязнений	Азотная кислота (плотность 1400 кг/м³)	15—30 мл/л	15—30	1—2
Кипячение в содовом растворе	Частичное удаление флюсовых включений	Углекислая сода	15—25	100	30—60
Обработка в растворе хромового ангидрида	Удаление флюсовых включений с поверхности и старой оксидной пленки	Хромовый ангидрид	20—30 или 150—200 200—250	60—70 15—30 15—30	8—12 8—12 20—30

27. Составы растворов химического оксидирования отливок из алюминиевых, магниевых, медных и цинковых сплавов

Основные компоненты растворов	Концентрация, г/дм³	Температура раствора, °С	Продолжительность обработки, мин	Примечание
Магниевые сплавы (ГОСТ 9.402—80)				
Двухромовокислый калий Азотная кислота (1400 кг/м³) Хлористый аммоний	40—55 90—120 0,075—1,25	70—80	0,25—2	Отливки и детали, не имеющие размеров 1—2-го классов точности
Двухромовокислый калий Хромовый ангидрид Сернокислый аммоний Уксусная кислота	140—160 1—3 2—4 10—22	65—80	0,5—1,5	Литые детали, имеющие размеры 1—2-го классов точности

Продолжение табл. 27

Основные компоненты растворов	Концентрация, г/дм³	Температура раствора, °С	Продолжительность обработки, мин	Примечание
Медные сплавы (ГОСТ 9.305—84)				
Медь углекислая основная Аммиак водный (25 %)	15—20 68—75	15—30	3—10	Для отливок из латуни (предварительная обработка)
Медь углекислая основная Аммиак водный (25 %)	40 160	15—30	3—20	Для отливок из латуни (окончательная обработка)
Едкий натр Надсернокислый калий Азотнокислый натрий	40—60 13—17 5—10	95—97	2—3	Для отливок из бронзы
Цинковые сплавы				
Ортофосфорная кислота Азотнокислый кальций (или барий)	2—10 100	80—100	30—40	
Алюминиевые сплавы (ГОСТ 9.305—84)				
Углекислый натрий безводный Хромовокислый натрий Едкий натр	40—50 10—15 2,0—2,5	80—100	3—20	

к ней эксплуатационных требований выбирают соответствующее сочетание (систему покрытий) грунта и лакокрасочной эмали. Некоторые из выпускаемых промышленностью грунтов и эмалей являются универсальными и могут применяться в различных комбинациях и для различных материалов отливок.

Наиболее распространенные в машиностроении и приборостроении системы покрытий, применяемые для отливок из цветных сплавов, приведены в табл. 28. Кроме указанных в табл. 28 систем покрытий, в промышленности применяются также алкидостирольные, поливинилацетатные, полидивинилацетатные, битумные, масляные и некоторые другие виды лакокрасочных покрытий.

28. Некоторые системы лакокрасочных покрытий для отливок из цветных сплавов

Система покрытий		Сплавы отливок
Эмали (ГОСТ, ТУ)	Грунты (ГОСТ, ТУ)	
Пентафталиевые и глифталиевые:	ФЛ-03-Ж (ГОСТ 9109—81)	Алюминиевые, магниевые
для окраски изделий, эксплуатируемых внутри помещений: ГФ-230 (ГОСТ 64—77), ГФ-245 (ГОСТ 6971—78), ПФ-223 (ГОСТ 14923—78); атмосферостойкие: ПФ-1126 (ТУ 6-10-1450—78), ПФ-115 (ГОСТ 6465—76); термостойкие: ГФ-820 (ОСТ 6-10-431—80), ПФ-837 (ТУ 6-10-1540—78)	ГФ-031 (ТУ 6-10-698—79)	Цинковые
	ФЛ-03-К (ГОСТ 9109—81)	Медные
Фенолоформальдегидные: ФЛ-61 (ТУ 6-10-778—76), ФЛ-777 (ТУ 6-10-1524—75), ФЛ-787 (ТУ 6-10-1199—71); стойкие к действию растворителей: ФЛ-787; водостойкие: ФЛ-412 (ТУ 6-10-718—76)	ФЛ-086 (ГОСТ 16032—79)	Алюминиевые
Перхлорвиниловые: атмосферостойкие: ХВ-1100 (ГОСТ 6993—79), ХВ-16 (ТУ 6-10-1301—78); стойкие к действию кислот: ХВ-785, ХВ-784 (ГОСТ 7313—75), ХВ-77 (ТУ 6-10-879—75)	ФЛ-03-Ж, ГФ-031 ФЛ-086 (ГОСТ 16302—79) АК-070 (ГОСТ 25718—83) АК-069 (ГОСТ 6-10-401—79)	Алюминиевые, магниевые, цинковые
	ВЛ-02 (ГОСТ 12707—77)	Алюминиевые
	ФЛ-03-К АК-069, АК-070	Медные
	ХС-010 (ГОСТ 9355—81)	Алюминиевые, медные

Продолжение табл. 28

Система покрытий		Сплавы отливок
Эмали (ГОСТ, ТУ)	Грунты (ГОСТ, ТУ)	
Винилхлоридные (сополимерные): атмосферостойкие: ХС-119 (ГОСТ 21884—76), ХС-1169 (ТУ 6-10-1453—79), ХС-1168 (ТУ 6-10-1454—79), ХС-416 (ТУ 6-10-1661—78) стойкие к действию кислот: ХС-759 (ГОСТ 23494—79), ХС-724 (ГОСТ 23494—79), ХС-558 (ТУ 6-10-592—76) стойкие к действию щелочей: ХС-76, ХС-710 (ГОСТ 9355—81) стойкие к действию растворителей: ХС-717 (ТУ 6-10-961—76)	ФЛ-03-Ж, ГФ-031 ФЛ-086 (ГОСТ 16302—79) АК-070 (ГОСТ 25718—83) АК-069 (ГОСТ 6-10-401—79)	Алюминиевые, магниевые, цинковые
	ВЛ-02 (ГОСТ 12707—77)	Алюминиевые
	ФЛ-03-К АК-069, АК-070	Медные
	ХС-010 (ГОСТ 9355—81)	Алюминиевые, медные
Эпоксидные: ЭП-1155 (ТУ 6-10-1504—75), ЭП-51 (ГОСТ 9640—75) стойкие к действию щелочей: ЭП-773 (ГОСТ 23143—78), ЭП-730 (ГОСТ 20824—81) водостойкие: ЭП-525 (ГОСТ 22438—77), ЭП-5116 (ТУ 6-10-1369—78) маслостойкие: Б-ЭП-752 (ТУ 6-10-1386—81) стойкие к действию растворителей: ЭП-140 (ГОСТ 24709—81)	ЭП-09Т желтый (ТУ 6-10-1155—76)	Алюминиевые, магниевые, цинковые
	ЭП-09Т красный (ТУ 6-10-1155—76)	Медные
Кремнийорганические термостойкие: КО-83 (ГОСТ 23123—78), КО-88 (ГОСТ 23101—78), КО-811 (ГОСТ 23122—78)	ФЛ-03-Ж, ГФ-031, КФ-030, ФЛ-086	Алюминиевые
Полиакриловые стойкие к действию пониженных температур: АС-730 (ТУ 6-10-949—75)	ФЛ-03-Ж, ЭП-09-Т желтый	Алюминиевые, магниевые, цинковые
	ФЛ-03-К, ЭП-09-Т красный	Медные
	АК-070	Алюминиевые

Глава X

ВИДЫ ДЕФЕКТОВ, СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

При изготовлении отливок в них возникают различные дефекты, характер и размеры которых зависят от применяемого сплава, способа литья и особенностей принятого технологического процесса. Дефекты могут быть допустимыми, исправимыми и неисправимыми. Неисправимые дефекты приводят к окончательному браку отливок.

Объем технического контроля отливок определяется условиями эксплуатации деталей. При полном контроле определяют химический состав сплава, механические свойства отливки, состояние ее поверхности, геометрические размеры, массу, герметичность (гидропрочность, вакуумную плотность), допустимость внутренних и наружных дефектов и состояние мест, подвергаемых исправлению заваркой или другими методами.

С целью сокращения потерь от исправимого и окончательного брака необходимо принимать своевременные меры по устранению причин, вызывающих появление дефектов. Систематически должна совершенствоваться не только литейная технология, но и средства контроля, обнаружения дефектов и методы их исправления.

1. Классификация дефектов и причины их образования

Основными причинами дефектов отливок являются нетехнологичность конструкции деталей, несовершенство технологического процесса, нарушение технологии и недоброкачественность технологических материалов.

Дефекты из-за нетехнологичной конструкции детали возникают в тех случаях, когда деталь спроектирована без учета возможностей литейной технологии (см. гл. I).

Дефекты из-за несовершенства технологического процесса встречаются наиболее часто. Перед запуском каждой новой отливки в производство технология ее изготовления должна быть выбрана на основе научных принципов, а затем опробована на опытных отливках. Пробные отливки необходимо всесторонне исследовать по геометрическим размерам, наличию внутренних дефектов, соответствию механических и служебных свойств. После доработки технологического процесса должна быть полная уверенность в том, что он надежно обеспечивает получение годных отливок и что каждый случай брака является следствием нарушения технологии. Причины этих нарушений должны полностью выявляться и устраняться.

Дефекты, вызываемые нарушением технологии, могут быть следствием отступления от режимов на любой технологической операции, например, при подготовке материалов, формовке, плавке, заливке, термической обработке и т. д. Дефектность и брак отливок неизбежно возрастают при неудовлетворительном состоянии технологического оборудования и оснастки, а также вследствие небрежной работы. Следить за соблюдением технологии обязаны в первую очередь производственный мастер и технолог. Вынужденное отступление от технологии возможно только по серьезным причинам, например, при аварии оборудования. Каждое такое отступление от технологии должно быть зафиксировано и соответственно документально оформлено.

Для правильного определения причин и принятия эффективных мер по предупреждению и устранению дефек-

1. Дефекты группы I, возникающие вследствие химического и механического взаимодействия с газами и влагой

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Шлаковые включения — неметаллические оксидные включения округлой формы, расположенные в теле отливки или на ее поверхности. Обнаруживаются внешним осмотром и рентгенопросвечиванием	Насыщенность сплава шлаками вследствие:	
	применения неочищенных от масла и коррозии шихтовых материалов	Дробеструйная очистка шихтовых материалов
	недостаточного рафинирования расплава; малого времени выстаивания расплава после рафинирования	Тщательное рафинирование металла и соблюдение времени его выстаивания перед заливкой
	плохой промывки и очистки разливочного ковша	Тщательная очистка разливочных ковшей и тиглей
	повышенной склонности расплава к окислению	Применение противоокисляющих добавок (бериллия для магниевых и алюминиево-магниевых сплавов); заливка сплава при возможно более низкой температуре; наклон кокиля при заливке
	Турбулентное (завихренное) поступление металла в форму и его вспенивание	Установление оптимальных размеров и формы отдельных элементов литниковой системы, установка шлакозадерживающих сеток и фильтров; уменьшение высоты падения струи при заливке металла из ковша в чашу
	Падение металла в форму	Подвод металла в нижнюю часть отливки
	Прерывание струи металла при заливке	Заливка формы непрерывной струей
Оксидные плены — включения оксидов в виде плен, рассеянных по поверхности или по всему телу отливки. Обнаруживаются внешним осмотром, особенно после обдувки дробью и оксидирования (у отливок из магниевых сплавов)	То же, что и при образовании шлаковых включений, а при литье магниевых сплавов дополнительно:	То же, что и при образовании шлаковых включений, а при литье магниевых сплавов дополнительно:
	повышенная влажность формы	соблюдение заданной влажности формы
	тугая набивка	равномерная набивка формы

Продолжение табл. 1

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Заплеск металла — оксидная плена, идущая в глубь отливки	Небрежная заливка — переливание металла через край литниковой чаши	Аккуратная заливка; закрыть открытые части формы (прибыли) специальными щитками
Подтек металла — внешний вид сходен с заплеском	Поступление металла в рабочую полость формы помимо литниковой системы	Устранение износа модельного инвентаря; прокладка шнурового асбеста или подрезка формы ланцетом вокруг стояков и в местах возможного прорыва металла в форму помимо литниковой системы
Вскип, вскиповая раковина — оксидные складки или раковины, образовавшиеся при кипении сплава. Различают вскипы со стороны формы, стержня и от холодильника	Большое давление газов и паров в форме вследствие:	
	высокой газотворной способности материала формы и стержней низкой газопроницаемости формы	Применение крепителей и защитных добавок с меньшей газотворностью Повышение газопроницаемости формовочной смеси; устройство газоотводящих каналов в форме и стержнях
	повышенной влажности отдельных участков формы; установки непросушенных стержней	Предупреждение местного переувлажнения формы; подсушка стержней, длительное время находившихся на складе или в собранной форме
	чрезмерного уплотнения отдельных участков формы	По возможности слабая и равномерная набивка формы
	отсутствия воздухоотводящих каналов (или залив их металлом) в форме и стержнях	Выполнение газоотводящих каналов и своевременная их очистка
	некачественной подготовки холодильников (плохо очищены от загрязнений, плохо просушены или не окрашены)	Тщательная подготовка холодильников
	недостаточной просушки кокильной краски	Тщательная просушка кокиля после окрашивания; применение сухого воздуха для продувки формы
	установки неподогретых металлических стержней и вставок в кокиль	Подогрев металлических стержней и вставок перед сборкой формы

Продолжение табл. 1

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Поверхностное окисление (загар, горение) — встречается (у отливок из магниевых сплавов) в виде: сплошной окисной пленки черного или серого цвета	Недостаточное количество защитных присадок в формовочной смеси и стержнях	Введение в смесь добавок и влаги в количествах, предусмотренных технологией; опрыскивание стержней противозагарным составом, например раствором борофтористого калия
отдельных или групповых раковин, заполненных порошком черного цвета или серого цвета; наростов (грибков) черного цвета	Повышенная влажность стержней	Надлежащая сушка и подсушка стержней
	Перегрев каналов литниковой системы	Припыливание литниково-питающей системы смесью серы и борной кислоты
	Чрезмерно высокая температура заливки	Снижение температуры заливки расплава
	Медленное остывание отливки в форме, способствующее выгоранию защитных присадок	Повышение скорости охлаждения массивных узлов отливки установкой холодильников
Оксидный спай — нарушение сплошности отливки в виде несливших-ся потоков металла, разделенных пленкой. Наиболее часто проявляется в тонких сечениях отливки	Малая скорость заполнения формы сплавом	Увеличение сечения элементов литниковой системы, изменение ее конструкции, рассредоточение мест подвода металла в форму
	Низкая температура заливки или недостаточный нагрев кокиля	Повышение температуры заливки сплава и нагрева кокиля
	Прерывание струи сплава	Не допускать перерыва струи сплава, заплесков и подтеков
	Неправильный подвод металла, при котором образуются глухие, плохо промываемые металлом полости, заполняемые несколькими потоками металла	Изменение конструкции литниковой системы; увеличение числа выпоров и изменение их месторасположения
	Низкая газопроницаемость и плохая вентиляция формы	Повышение газопроницаемости и вентиляции формы и стержней

Продолжение табл. 1

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Газовые раковины — в теле отливки полости округлой формы диаметром 1—3 мм и более с гладкой блестящей поверхностью. Располагаются или отдельными включениями, или гнездами. При литье магниевых сплавов наружные раковины имеют окисленную поверхность серого или черного цвета, при взаимодействии металла с серой раковины имеют желтую окраску. При литье тяжелых цветных сплавов раковины часто располагаются под коркой металла (подкорковые раковины) и обнаруживаются при обработке резанием	Низкая газопроницаемость формы и стержней Повышенное содержание газотворных веществ или посторонних включений (например, частичек угля) в формовочной и стержневой смеси и кокильной краски Высокая влажность формы и стержней Захват воздуха при заливке, большая скорость потока сплава в форме Недостаточная вентиляция кокиля Плохая обработка холодильников Избыточность припыливания струи металла серой (при литье магниевых сплавов) Плохо раскисленный и насыщенный водородом и серой металл (при литье оловянных, высокосвинцовистых и других бронз и никелевых сплавов) Местное скопление защитных присадок в формовочных смесях	Повышение газопроницаемости форм и стержней Тщательный контроль состава и свойств формовочной и стержневой смесей Минимально возможное содержание влаги в формовочной смеси; тщательная просушка стержней Применение литниковой системы, обеспечивающей плавное спокойное заполнение формы и последовательное вытеснение воздуха; наклон кокиля при заливке Улучшение вентиляции формы Тщательная подготовка и просушка холодильников Уменьшение интенсивности припыливания струи металла серой Тщательное раскисление и десульфурация металла (при литье бронз и никелевых сплавов) Тщательное перемешивание формовочных смесей

тов и брака отливок все дефекты отливок должны быть классифицированы. Существуют две основные системы классификации дефектов отливок:

классификация дефектов по их внешнему виду, форме, расположению на отливке, размерам;

классификация дефектов по причинам их образования, по общности физико-химических явлений, в результате которых возникает дефект.

При литье цветных сплавов в большинстве случаев применяют вторую систему классификации, так как в ней полнее раскрывается сущность явлений и взаимосвязь дефектов с физико-химическими, тепловыми, гидравлическими и другими процессами, сопутствующими процессу изготовления отливок.

В табл. 1—4 классифицированы дефекты отливок, получаемых литьем в

2. Дефекты группы II усадочного происхождения

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Дефекты, образующиеся при кристаллизации отливок		
Внутренняя усадочная раковина — закрытая полость в теле отливки с шероховатой поверхностью Обнаруживается рентгенопросвечиванием *Наружная усадочная раковина (утяжина)* — углубление в теле отливки с гладкой поверхностью	Отклонение от оптимального состава сплава	Составление шихты по оптимальному химическому составу
	Недостаточное питание отливки жидким сплавом вследствие несовершенства литниковой системы, приводящей к местным перегревам	Применение литниково-прибыльной системы, обеспечивающей последовательную кристаллизацию
	нерациональной установки прибылей и холодильников; замедленной скорости охлаждения утолщенных мест, малых размеров прибылей	Повышение скорости охлаждения утолщенных мест отливки путем увеличения размеров или установки дополнительных холодильников
	нерациональной конструкции деталей	Улучшение технологичности конструкции детали
	Завышенная скорость охлаждения прибылей	Замедленное охлаждение прибылей путем их утепления и подвода в их основание горячего металла
	Завышенная температура заливки	Понижение температуры заливки сплава
Рыхлота (макрорыхлота) — неплотная структура металла внутри отливки или на поверхности в виде червоточин Размеры отдельных пустот видны визуально	Те же, что и при образовании усадочной раковины	

Продолжение табл. 2

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Микрорыхлота — неплотная структура металла. Размеры отдельных пустот неразличимы невооруженным глазом. Обнаруживается рентгенопросвечиванием	Те же, что и при образовании усадочных раковин и рыхлот	
	Усилению микрорыхлоты, особенно у отливок из магниевых сплавов, способствует поглощение расплавленным металлом водорода	Применение сухих шихтовых материалов, очищенных от масла и продуктов коррозии; соблюдение оптимальных режимов плавки, тщательная дегазация сплава, применение просушенных флюсов
Газоусадочная пористость	Повышенная газонасыщенность сплава. Недостаточное питание отливки Повышенная влажность формы, недостаточная просушка стержней и кокильной краски Завышенная температура заливаемого сплава	Те же, что и при микрорыхлотах
Газовая пористость	Повышенная газонасыщенность сплава	Соблюдение рациональных режимов плавки
	Загрязненность шихты влагой и оксидами	Применение очищенной от масла и окислов шихты; применение просушенных флюсов
	Повышенная влажность формы	Контроль содержания влаги в форме
	Недостаточная просушка стержней, кокильной краски, футеровки плавильной печи и разливочных ковшей	Тщательная просушка стержней, кокильной краски, футеровки печей и разливочных ковшей

Продолжение табл. 2

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Дефекты, образующиеся в твердом или твердо-жидком состоянии		
Горячие и холодные трещины — прямолинейные и извилистые разрывы (сквозные трещины) или надрывы (несквозные трещины в теле отливки). Излом горячей трещины имеет окисленную поверхность (матового, темно-серого или черного цвета); излом холодной — не окисленную или слабо окисленную поверхность	Нетехнологичная конструкция отливок (наличие острых углов, резких переходов сечений, малых радиусов закруглений)	Доработать конструкцию отливки: устранить острые углы, увеличить радиусы в галтелях, создать плавные переходы от толстых сечений к тонким
	Неправильный выбор сплава; высокое содержание в сплаве примесей или добавок, повышающих его склонность к трещинообразованию	Выбрать сплав с учетом конструкции отливки и откорректировать его химический состав
	Затрудненная усадка отдельных мест отливки; недостаточная податливость стержней	Понизить прочность и увеличить податливость стержней, уменьшить плотность набивки формы
	Неравномерная скорость затвердевания отдельных узлов отливки	Выполнение насечек в тех местах формы, против которых появляются трещины в отливках (малые ребра на поверхности отливок устраняют трещины); изменение литниково-питающей системы и схемы размещения холодильников для устранения местных перегревов формы и создания условий для последовательной кристаллизации
	Запоздалые раскрытие формы и «подрыв» стержней при литье в кокиль	Установить оптимальные интервалы времени от конца заливки до «подрыва» стержней и раскрытия формы

Продолжение табл. 2

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Коробление — искажение геометрии и конфигурации отливки. Обнаруживается после остывания отливки в форме, выбивки и заварки	Неравномерное охлаждение (и усадка) отдельных частей отливки, вызывающее появление внутренних напряжений, которые превосходят предел текучести металла	Применение мер, описанных выше для предупреждения трещин
	Малая жесткость конструкции отливки	Увеличение жесткости отливки путем введения дополнительных ребер жесткости и технологических перемычек
	Неправильная укладка деталей при термической обработке, низкая температура охлаждающей среды	Укладка деталей в печи без провисания, проведение термической обработки сложных и тонкостенных отливок в специальных приспособлениях, препятствующих короблению, закалка отливок в подогретой воде
	Неравномерный нагрев отливки при заварке дефектов	Обеспечить равномерный нагрев детали до оптимальной температуры перед заваркой

3. Дефекты группы III — неметаллические включения в отливке, не вызываемые взаимодействием с газами и влагой

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Флюсовые крупные включения — раковины в теле отливки каплеобразной формы, заполненные флюсом, часто сопровождающиеся включениями шлака *Флюсовые мелкие* включения, проявляющиеся при вылеживании отливок в виде темных точек и пятен	Применение флюса, не соответствующего принятому методу плавки, или применение некачественного флюса	Применение качественного флюса, соответствующего принятому методу плавки
	Нарушение режимов рафинирования и отстаивания металла в тигле	Соблюдение правил обработки расплава в печи и раздаточном тигле
	Небрежный набор металла из тигля в разливочный ковш	Оставлять, особенно при разливке магниевых сплавов, на дне стационарных и выемных тиглей металл в объеме, установленном технологией (обычно 10—30 % объема тигля)
	Плохая очистка от флюса ковша и выемного тигля	Тщательная очистка разливочных ковшей, носка и стенок выемных тиглей
Песчаный васор — открытая или закрытая раковина в теле отливки неправильной формы, полностью или частично заполненная формовочным материалом	Несоблюдение общих правил изготовления и сборки литейных форм	Употребление формовочных и стержневых смесей с достаточной прочностью в сыром состоянии; равномерная набивка и аккуратная сборка форм; уменьшение продолжительности выстаивания собранной формы перед заливкой
	Неправильный подвод металла в рабочую полость формы, приводящий к ее местному разрушению	Рассредоточенный подвод металла

Продолжение табл. 3

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Ужимины — длинные узкие вмятины в теле отливки. Наслоения металла, отделенные прослойкой формовочной смеси (при литье в песчаные формы) или прослойкой краски (при литье в кокиль)	Нарушение технологии приготовления формовочной смеси	Тщательное перемешивание формовочной смеси
	Неравномерное уплотнение формы, вызывающее неравномерное расширение слоев формы при заполнении ее металлом	Равномерная набивка песчаной формы
	Отслаивание и растрескивание слоя кокильной краски	Нанесение кокильной краски тонкими ровными слоями
	Местный перегрев формы при заливке	Рассредоточенный подвод металла во избежание местного перегрева
Пригар — неравномерные утолщения из формовочной или стержневой смеси, пропитанные металлом, располагающиеся в местах ее соприкосновения с наиболее горячими участками формы	Крупнозернистый песок и слабая набивка формы; низкая огнеупорность (для медных сплавов) формовочной и стержневой смесей	Равномерная набивка формы, применение мелкозернистых формовочных песков с огнеупорными и противопригарными добавками
	Повышенный напор сплава при заливке	Уменьшение гидравлического напора сплава при заливке
	Низкое качество противопригарной краски	Применение соответствующих ТУ противопригарных красок
	Завышенная температура заливки	Снижение температуры заливки сплава
Королек — металлическое включение того же состава, что и отливка. В большинстве случаев включение полностью окружено металлом	Неправильный режим заливки отливок (перерыв струи, выбросы и разбрызгивание металла и т. д.)	Соблюдение общих правил заливки форм, исключающих перерыв струи, разбрызгивание металла, попадание металла из ковша в прибыли и выпоры
	Неудачная конструкция литниковой системы, приводящая к раздроблению струи расплава	Применение литниковой системы, обеспечивающей спокойный без разбрызгивания ввод металла в форму

4. Дефекты группы IV — несоответствие состава, свойств, структуры и размеров отливок требованиям стандарта

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Брак по химическому составу	Неправильная шихтовка или неточное определение химического состава сплава	Улучшение методики шихтовки оптимального химического сплава; проведение экспресс-анализа и подшихтовка сплава
	Неправильная методика отбора пробы для химического анализа	Улучшение методики отбора пробы сплава
	Нарушение технологии плавки	Соблюдение режимов плавки
Ликвация — неоднородность химического состава сплава в разных точках отливки	Плохое перемешивание жидкого сплава, склонного к ликвации; длительное выстаивание сплава перед заливкой	Тщательное перемешивание сплава перед заливкой и сокращение времени выдержки
	Высокая температура заливки	Снижение температуры заливки до допустимой по технологии
	Медленное охлаждение массивных узлов отливки	Увеличение скорости охлаждения отливки путем установки холодильников; уменьшение слоя кокильной краски и интенсивное охлаждение участков кокиля, оформляющих массивные узлы отливки
	Избыток ликвирующего компонента в сплаве, например, марганца в сплаве типа АЛ3, свинца в бронзах и т. д.	Снижение верхнего предела допуска ликвирующего элемента. При литье оловянных бронз стремиться выдержать соотношение свинца и суммы олова и цинка в пределах 1 : 1 (если это возможно). Держать фосфор на нижнем пределе
	Наличие в сплаве примесей, способствующих обратной ликвации (например, алюминий в кремнистой латуни)	Не допускать загрязнения сплава примесями, способствующими обратной ликвации (например, кремнистой латуни примесями алюминия)

Продолжение табл. 4

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Отклонение физико-механических свойств отдельно отлитых или вырезанных из отливки образцов от требований стандарта	Нарушение технологии приготовления сплава, приводящее к наличию оксидных включений и плохому модифицированию сплава	Соблюдение технологии плавки, рафинирования, модифицирования и заливки
	Неправильная методика отливки (повышенная газоусадочная пористость, наличие рыхлот и микрорыхлот)	Устранение рыхлот и микрорыхлот и газоусадочной пористости
Отклонение микроструктуры по виду, количеству и величине структурных составляющих от требований стандарта	Нарушение технологии термической обработки: заниженная температура нагрева, приводящая к неполной закалке	Уточнение и строгое соблюдение режимов термической обработки Проверка исправности работы оборудования для термической обработки
	завышенная температура нагрева, приводящая к пережогу (оплавлению) структуры замедленный процесс закалки	Устранение больших перепадов температур в рабочем пространстве печи для термической обработки
	недостаточная выдержка отливок в печи неравномерный прогрев отливок, приводящий к неравномерной закалке	Применение двухступенчатого нагрева деталей под закалку
	Неоптимальное содержание отдельных компонентов сплава	Целенаправленный расчет химического состава сплава по отдельным компонентам (по нижнему, среднему или верхнему значению) в пределах их допустимого содержания

Продолжение табл. 4

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения и устранения
Несоответствие размеров и конфигурации отливки чертежу. Обнаруживается внешним осмотром и разметкой отливок	Неправильно учтена величина усадки сплава при изготовлении модельного комплекта (кокиля)	Уточнить величину усадки сплава и материала металлической формы
	Несоответствие размеров знаков на модели и в стержневом ящике; отсутствие фиксаторов	Проверка точности изготовления модельного комплекта
	Износ модельного комплекта, кокилей, оснастки (опок, штырей, втулок и т. д.)	Периодическая проверка модельного комплекта, оснастки и кокилей
	Ошибки при формовке, изготовлении стержней и сборке формы	Усиление контроля за сборкой формы
	Повреждение детали при выбивке, обрубке и зачистке	Создание эталонов по отделке деталей, инструктаж рабочих по выбивке, отрезке и механической обработке отливок
Несоответствие герметичности отливки техническим требованиям чертежа. Отливки не выдерживают испытания на герметичность	Повышенная пористость и усадочная рыхлота	Устранить пористость и усадочную рыхлоту (см. дефекты группы II)
	Неправильно подобран тип сплава	Заменить сплав на более герметичный

песчаные и оболочковые формы, а также в кокиль. Специфические дефекты отливок, получаемых другими специальными способами литья, рассмотрены в гл. VIII.

Все дефекты отливок подразделяют на четыре группы: к группе I отнесены дефекты, возникающие вследствие химического и механического взаимодействия с газами и влагой (табл. 1); к группе II — дефекты усадочного происхождения (табл. 2); к группе III — неметаллические включения в отливке, не вызываемые взаимодействием с газами и влагой (табл. 3); к группе IV — несоответствие состава сплава, свойств, структуры и размеров отливок требованиям стандарта (табл. 4).

2. Исправление дефектов отливок

Количество и размеры допускаемых в отливках дефектов определяются техническими условиями на данный вид отливок. Для уменьшения потерь от брака технологический процесс изготовления отливок предусматривает исправление дефектов с последующим повторным контролем участков отливки, на которых они были обнаружены.

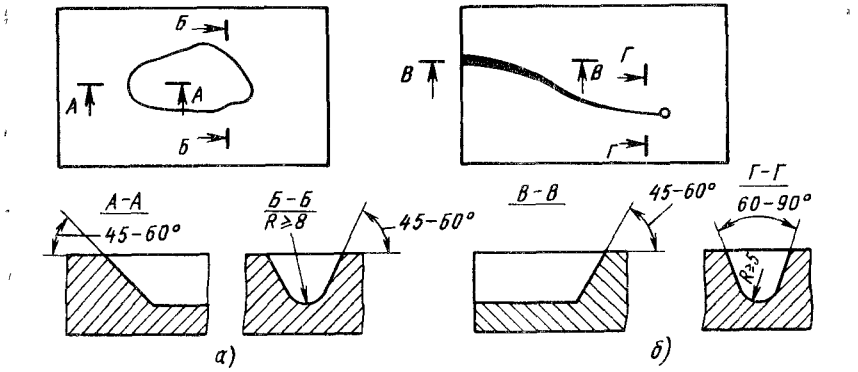


Рис. 1. Схемы разделки дефектов на поверхности отливок под заварку: *а* — наружной раковины; *б* — трещины

Основными средствами исправления дефектных отливок являются заварка, заделка эпоксидными компаундами, пропитка герметизирующими материалами, а также установка различных заглушек, пробок и втулок.

Заварка отливок является наиболее надежным и поэтому широко применяемым способом исправления дефектов отливок из цветных сплавов. Заваркой устраняют большинство дефектов в отливках: раковины, рыхлоты, незаливы, трещины, неплоскостность и др.

Перед заваркой отливки очищают от загрязнений, дефектные участки разделывают до здорового металла; рыхлоты, включения оксидов шлака и формовочной смеси и трещины вырубают пневматическим зубилом, удаляют слесарным инструментом (шарошкой, напильником и т. д.) или обработкой резанием (фрезерованием, токарной обработкой и т. д.). Крупные раковины вырубают до исчезновения черновин. При скоплении раковин или засора на небольшой площади удаляется сразу вся группа дефектов на глубину их залегания. При недоливах место наплавки зачищают снятием тонкого слоя металла с поверхности отливки. Трещины вырубают на всю длину и глубину. Чтобы трещина в процессе заварки не распространялась дальше, необходимо на расстоянии 5—10 мм от ее концов просверлить отверстия диаметром 6—8 мм — сквозные при сквозных трещинах и на глубину, превышающую глубину трещины на 2—3 мм, при несквозных (рис. 1).

Стенки отливки в местах разделки дефекта должны быть наклонены к вертикали на угол 45—60° для обеспечения свободного доступа наконечника сварочной горелки или электрода по всей поверхности разделанного под заварку дефекта.

Отливки, подлежащие заварке, как правило, подвергаются местному или общему нагреву газовыми горелками, в термических или специальных электрических печах. Заварку дефектного места начинают с оплавления его поверхности сварочной горелкой без применения присадочного материала. Если на всей оплавленной поверхности образуется чистая и гладкая ванна расплавленного металла, можно продолжать заварку дефекта с применением присадочного материала. В случае обнаружения на оплавленной поверхности рыхлот и засоров необходимо провести повторную, более глубокую разделку дефектного места обработкой резанием.

Заварка отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. Заварку мелких и средних отливок выполняют главным образом аргонодуговой сваркой, крупных отливок — газовой ацетилено-кислородной. Дефектные участки большого объема (более 5 см^3) заваривают

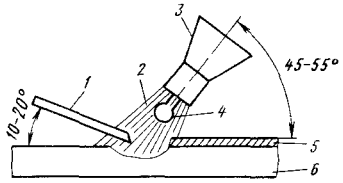


Рис. 2. Схема аргонодуговой заварки отливок:

1 — присадочный металл; *2* — защитный газ; *3* — сопло горелки; *4* — электрод; *5* — наплавленный металл; *6* — отливка

с перерывами в два-три приема для остывания предыдущего слоя наплавленного металла до температуры 40—50 °С. При многослойной наплавке каждый предыдущий слой должен быть зачищен металлической щеткой.

Для исключения образования трещин и коробления из-за термических напряжений, возникающих при заварке, отливки перед заваркой подвергают местному или общему подогреву при температуре 300—350 °С. Местный подогрев проводят, как правило, ацетилено-кислородным пламенем, общий нагрев — в камерных электропечах с перепадом температур не более ±10 °С.

Заварку ведут теми же сплавами, из которых изготовлены отливки, с помощью неплавящегося вольфрамового электрода диаметром 2—6 мм при расходе аргона 5—12 л/мин. Сила тока составляет обычно 25—40 А на 1 мм диаметра электрода.

При заварке в нижнем положении горелка располагается под углом 45—55° с наклоном в сторону, противоположную направлению сварки. Присадочный материал подают в зону сварки непрерывно под углом 10—20° к завариваемой поверхности отливки, чтобы уменьшить возмущение газовой струи (рис. 2). Конкретные технологические режимы и число слоев заварки зависят от размеров дефекта, диаметров применяемых электродов и присадочного прутка и выбираются в каждом конкретном случае.

Коробление алюминиевых и магниевых отливок, вызванное остаточными напряжениями, возникшими после литья, термической обработки или заварки, исправляют рихтовкой (правкой) отливок в специальных приспособлениях вручную или под прессом. Однако рихтовка сложных тонкостенных отливок с большой протяженной поверхностью (в особенности из сплавов с низкой пластичностью) может привести к образованию трещин и поломке. Кроме того, рихтовка не снимает внутренние напряжения в отливке, а лишь перераспределяет их по ее сечению. Поэтому во всех случаях следует избегать этой операции, обеспечивая достаточную жесткость конструкции отливки установкой технологических ребер, стяжек и т. п.

Заварка отливок из медных сплавов затруднена высокой теплопроводностью и большой жидкотекучестью этих сплавов, а также их способностью сильно окисляться в нагретом и особенно в расплавленном состоянии. Отливки из медных сплавов можно заваривать ручной и автоматической дуговой сваркой, сваркой в среде защитных газов и газовой сваркой. Заварка латунных отливок осложняется присутствием легко испаряющегося и окисляющегося цинка, что приводит к пористости металла сварного шва. Чтобы избежать этого, заварку латунных отливок выполняют предельно короткой дугой (3—6 мм).

Присадочные прутки, металлические электроды и электронную проволоку (для механизированной заварки) готовят из сплавов, близких по химическому составу к материалу отливки. Например, для заварки оловянных бронз применяют следующие сплавы, содержащие, % (мас. доля): 1) Sn 3,28; Zn 8,9; P 0,2; Ni 0,31; Fe 0,2; Pb 5,89; медь — остальное; 2) Sn 7—9; Al 0,6—0,8; Mn 0,8; Fe 0,3; P до 0,03; медь — остальное.

Для заварки отливок из фосфористой бронзы применяют прутки из оловянной [7—9 % (мас. доля) Sn] и фосфористой [9—11 % (мас. доля) Sn и 0,5—1,0 % (мас. доля) P] бронз. Для заварки отливок из алюминиевых бронз применяют прутки и электроды того же состава, а также используют бронзу БрК3М1Ц. При заварке дефектов латунных отливок, кроме прутков из латуни марок ЛЦ16К4 и ЛЦ40С, используют прутки бронз БрО4Ц3 и БрК3М1Ц; заварку свинцовой латуни

5. Составы покрытий [% (мас. доля)] для заварки отливок из медных сплавов

Компонент покрытия	Номер состава								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Алюминиевый порошок	—	15	15	15	16,7	—	50	—	—
Мел	50	70	—	35	—	—	—	50	—
Мрамор	—	—	70	35	83,3	83,3	—	—	—
Древесный уголь	50	—	—	15	—	16,7	50	35	—
Графит	—	15	15	—	—	—	—	—	5
Бура плавленая	—	—	—	—	—	—	—	15	—
Ферромарганец	—	—	—	—	—	—	—	—	80
Криолит	—	—	—	—	—	—	—	—	15

Примечание. Все покрытия изготовляют на жидком стекле, добавляя его 55—60 % (мас. доля от массы сухой смеси).

проводят прутками из бронзы БрО5С25 или БрО8Н1,5Ф0,3.

Диаметр присадочных прутков 5—12 мм, а угольных или графитовых электродов — 10—20 мм.

Все виды газовой заварки дефектов, как правило, ведут с применением защитных флюсов. При дуговой сварке на электродную проволоку наносят специальные защитно-флюсующие покрытия. Массивные отливки перед заваркой подогревают до 300—500 °С. После заварки бронзовые отливки подвергают отжигу при 450—500 °С, а латунные (после проковки сварочного шва) — при 600—700 °С с последующим медленным охлаждением.

Наиболее распространенные составы электродных покрытий, применяемых при заварке отливок из медных сплавов, приведены в табл. 5; составы флюсов — в табл. 6. Для заварки алюминиевых бронз можно применять флюсы, предназначенные для сварки отливок из алюминиевых сплавов.

Заварку титановых отливок используют при устранении неспаев (наиболее часто встречающегося дефекта), трещин, наружных и внутренних раковин, рыхлот и засоров.

Дефектные места разделывают слесарным инструментом (шарошками) или обработкой резанием с использованием твердосплавного инструмента. После заварки обязательным является повторный рентгеноконтроль. В случае, когда надежный контроль мест заварки невозможен, отливку бракуют.

Основным способом заварки дефектов является аргонодуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом. Аргон должен иметь чистоту не менее 99,7 % и совершенно не содержать влаги. В качестве присадочного материала применяют прутки титана и его сплавов. После заварки отливки подвергают отжигу при 600—650 °С.

6. Составы флюсов [% (мас. доля)] для заварки отливок из медных сплавов

Компонент флюса	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Бура	50	75	50	56	100	—
Борная кислота	35	25	50	—	—	100
Фосфорнокислый натрий	15	—	—	—	—	—
Хлористый натрий	—	—	—	22	—	—
Углекислый калий	—	—	—	22	—	—

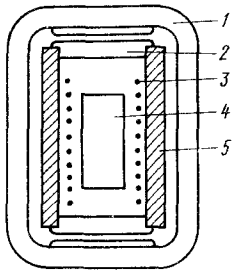


Рис. 3. Схема газостата QUINTLIS: *1* — рама; *2* — крышка; *3* — нагреватель; *4* — обрабатываемая деталь; *5* — камера высокого давления

Заварку дефектов ответственных титановых отливок необходимо выполнять в специальной заварочной камере, наполненной чистым аргоном. Если заварка титанового литья выполнена в строгом соответствии с технологией, то она практически не снижает статической прочности.

Однако на некоторых участках снижение усталостной прочности заваренных зон по сравнению с основным металлом отливки может достигать 25—30 %. В этом случае необходимо применять новые способы исправления дефектов [например, горячее изостатическое прессование (ГИП)].

Заварку отливок из никелевых сплавов проводят аргонодуговой (неплавящимся электродом) и газовой сваркой. Электродные покрытия готовят на основе мрамора, плавикового шпата с добавками ферросилиция, ферромарганца, ферротитана, применяя в качестве связующего жидкое стекло. Составы флюсов при газовой сварке, % (мас. доля):

1) буры 30, борной кислоты 50, углекислого бария 10, хлористого натрия 10; 2) буры 25, борной кислоты 75; 3) буры 50, борной кислоты 50.

Горячее изостатическое прессование — эффективный способ исправления внутренних дефектов ответственных отливок из алюминиевых (литье в песчаные формы и кокиль) и титановых сплавов. ГИП обычно проводят в газостатах (рис. 3). Сущность ГИП состоит во всестороннем сжатии отливок специальными жидкостями или газами при определенном сочетании температуры, давления и времени выдержки.

Основной узел газостата — контейнер из высокопрочной стали, снабженный встроенным нагревателем и соединенный с газовой системой высокого давления (100—250 МПа). Для изоляции стенок контейнера от зоны нагрева внутри контейнера размещен теплоизолирующий колпак.

Контейнер установлен в вертикальном положении и имеет с обоих торцов крышки, через которые загружают детали, производят вакуумирование и напуск аргона в контейнер. Осевое давление на крышки во время прессования воспринимается рамой, которая сделана подвижной для облегчения загрузки и выгрузки контейнера. Контейнер с загруженными деталями устанавливают внутри рамы, вакуумируют, после чего в него нагнетают аргон до заранее установленного давления. Дальнейшее повышение давления газа осуществляется за счет его нагревания до температуры обработки.

После выдержки деталей при заданных давлении и температуре газ охлаждают, давление в контейнере стравливают и выгружают отливки. В местах, где имелись внутренние дефекты, на поверхности появляются вмятины. Причем вмятины располагаются на той поверхности детали, к которой ближе расположена раковина. Опыты показывают, что для «залечивания» крупных раковин в толстостенных деталях необходимо, чтобы температура инертного газа во время выдержки была на 15—20 °С ниже температуры полиморфного превращения данного сплава.

Например, для алюминиевых сплавов АЛ4 и АЛ9 температура нагрева составляет 480—500 °С (т. е. близка к температуре закалки); для титановых — 870—920 °С. Время выдержки 2—10 ч. Большая разница в предельных значениях времени выдержки объясняется тем, что залечивание происходит сначала за счет пластической деформации крупных раковин и пор, а затем за счет ползучести. На заключительной стадии мелкие дефекты залечиваются благодаря действию вакансионного и дислокационного ме-

7. Механические свойства титановых сплавов, полученные на образцах до и после ГИП

Сплав	$\sigma_в$, МПа	δ, %	ψ, %	$a_н$, Дж/см²
ВТ5Л	834 851	19,0 17,4	27,7 34,6	59 71
ВТ9Л	955 986	8,3 10,4	17,4 20,3	31 39
ВТ20Л	906 925	9,2 12,2	20,5 26,8	52 61

Примечание. В числителе дроби — механические свойства до ГИП, в знаменателе — после ГИП.

ханизмов, для реализации которых требуется значительное время. Выбор оптимального давления основывается на значениях предела текучести сплава при температуре ГИП.

ГИП ликвидирует такие дефекты, как рассеянную газовую и микроусадочную пористость, зональные рыхлоты, микротрещины. В зоне «залеченного» дефекта образуется структура, близкая к деформированному металлу, но значительно мельче, чем структура основного металла отливки. Такое сочетание структуры в одной отливке не только положительно влияет на ее механические свойства (табл. 7), но и значительно повышает циклическую прочность, коррозионную стойкость, свариваемость, обрабатываемость резанием и другие технологические и эксплуатационные характеристики.

Газовая пористость отливок из алюминиевых сплавов снижается с 3—4 баллов до I балла по шкале ВИАМ. Сквозную пористость или внутренние дефекты, соединяющиеся с поверхностью отливки, ГИП не устраняет.

Оборудование для ГИП производится рядом зарубежных фирм (в частности, шведской фирмой ASEA). Диаметр камер установок 500—1600 мм, высота 1000—3200 мм, максимальное давление 100—200 МПа, температура ГИП 1250 °С.

Пропитка отливок является одним из самых распространенных и эффективных способов устранения негерметичности отливок из различных сплавов, работающих под давлением газа или жидкости, а также в вакууме. Необходимость пропитки вызвана тем, что дефекты, являющиеся причиной негерметичности отливок, часто обнаруживаются после длительной и дорогостоящей обработки резанием.

Однако пропитку применяют лишь в тех случаях, когда негерметичности отливок вызваны микро- и макропористостью, проявляющихся обычно при испытаниях на герметичность в слабом выделении воздуха в виде отдельных пузырьков или пузырчатой сыпи. Устранение с помощью пропитки трещин, раковин и других крупных дефектов, снижающих механическую прочность литых деталей, не допускается.

Пропитывание состоит в том, что пропиточный материал вводится в поры отливки и затвердевает в порах в результате охлаждения, сополимеризации или испарения растворителя. Применяют следующие методы пропитки: свободную пропитку (окунанием), пропитку внутренним давлением, наружным давлением и «вакуум-давлением».

При свободной пропитке детали последовательно погружают в ванну с обезжиривающим составом при температуре 100 °С, затем в ванну с чистой водой при 100 °С и, наконец, в ванну с пропитывающим составом при 65—75 °С.

Метод «вакуум-давление» (комбинированный метод) обеспечивает высокое качество герметизации отливок. Его применяют для герметизации отливок любой конфигурации и размеров, работающих под высоким давлением жидкостей или газов, часто — при повышенных температурах.

Схема пропитки методом «вакуумдавления» приведена на рис. 4. Детали проходят очистку и обезжиривание

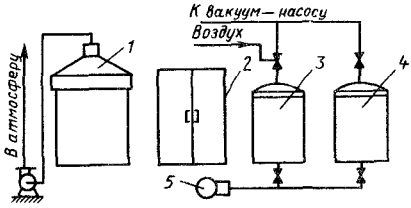


Рис. 4. Схема пропитки отливок методом «вакуум-давление»

в ванне *1*, а затем сушку в камере *2*. Подогретые детали укладывают в корзины и помещают в рабочий автоклав *3*, где они проходят сушку при остаточном давлении 2,5—5,5 кПа и температуре (70 ± 5) °С в течение 1 ч. Затем пропиточную смесь из бака питания *4* перекачивают в автоклав *3*.

Детали пропитывают вначале в вакууме при остаточном давлении 2,5—5,5 кПа в течение 10—15 мин, а затем под давлением 300—400 кПа в течение 10—15 мин. После этого пропиточную смесь перекачивают насосом *5* в бак питания, корзину с деталями извлекают из автоклава, а детали передают на удаление натеков пропиточного состава. Сушку деталей проводят в сушильной камере при температуре (120± ± 10) °С.

Пропиточные материалы должны удовлетворять следующим основным требованиям: обладать невысокой вязкостью, хорошо заполнять поры и обеспечивать надежную связь герметика с материалом отливки; обладать при необходимости специальными свойствами, например, теплостойкостью и химической стойкостью при работе в агрессивных средах; иметь минимальную склонность к электрохимической коррозии на границах раздела материал отливки — герметик — рабочая среда; быть нетоксичными, пожаро- и взрывобезопасными. Очень важны также такие свойства пропиточного материала, как неспособность отверждаться на поверхности отливки, смываемость пропиточного материала с поверхности отливки водой с добавками ПАВ или растворителем в тех случаях, когда необходимо нанести на деталь гальваническое покрытие или когда по условиям эксплуатации детали на ее поверхности не допускается наличие герметика.

Наиболее часто в качестве пропиточных материалов применяют органические и неорганические композиции — фенольные смолы, стирол с безводными маслами, бакелитовый лак, эмаль БТ-538, полиэфирные смолы, силикат натрия, смесь «металл-импрекс» и др. Для пропитки отливок из различных сплавов широко применяют смесь жидкого стекла с различными добавками. Лучшими свойствами из отечественных марок обладает жидкое стекло сумского ПО «Химпром».

На приготовление 1 т жидкости для пропитывания алюминиевых отливок методом «вакуум-давления» расходуют, кг: 950 натриевого и 25 калиевого жидкого стекла; 17,5 тонкоизмельченного асбеста; 15 смазки АГ-1; 0,73 перманганата калия и 7,3 красной окиси железа. Приготовленную смесь разбавляют водой до $\gamma = 1270$ кг/м^3 и подогревают до 60—65 °С.

Для пропитки отливок из медных сплавов, работающих в морской воде при температурах до +220 °С, в среде аммиака и фреона при температурах до —50 °С, используют жидкие композиции на основе кремнийорганических лаков с плотностью 970—1020 кг/м^3. Кремнийорганические лаки и пропиточная жидкость не токсичны. Их применяют для герметизации деталей различными методами, в том числе и методом «вакуум-давление». После пропитывания детали 3—4 ч выдерживают на воздухе, а для ускорения процесса полимеризации и улучшения физико-механических свойств кремнийорганических материалов их подвергают термообработке по ступенчатому режиму с нагревом до 140 °С и общей выдержкой 15 ч.

Для герметизации отливок из цветных сплавов применяют анаэробные материалы, обеспечивающие работоспособность отливок при температурах от —190 до +150 °С. Преимущества этих материалов — высокая проникающая способность (заполнение микропор), хорошая удаляемость с поверхностей отливок, отверждение в обычных условиях на воздухе (практически без усадки материала) без применения активаторов, простота тех-

нологического процесса.

Основное влияние на скорость отверждения анаэробных продуктов оказывают: отсутствие контакта с кислородом, наличие контакта с металлом, температура. При пропитке деталей первое условие выполняется в момент, когда пропиточный состав проникает в микропоры. Для обеспечения контакта с металлом необходимо обезжиривание поверхностей. В отличие от других пропитывающих составов анаэробные герметики быстро отверждаются при комнатной температуре. Высокая чувствительность анаэробных герметиков к теплу делает излишним их нагрев при нанесении на деталь, однако скорость отверждения и время достижения максимальной прочности прямо зависят от температуры отверждения. При 120 °С отверждение происходит за 0,5—1 ч, при 20 °С — за 24 ч.

Анаэробными составами можно уплотнять изделия, изготовленные из многих известных материалов, но каждый из них оказывает определенное влияние на скорость отверждения герметика. По этому признаку материалы подразделяют на три группы:

I — Cu и его сплавы, Co, Mg, Ni, Fe; контакт с ними ускоряет полимеризацию герметика, а сами материалы считаются активными;

II — Al и его сплавы, углеродистые стали, чугуны, Au, Ag, Ti, Zn, пластмассы; их поверхность неактивна;

III — материалы, имеющие покрытия (гальванические, кадмиевые, анодные, оксидные, хромовые, частично цинковые), коррозионно-стойкие стали.

Техническая характеристика анаэробного герметика Анатерм-1 (ТУ 6-01-2-300—72)

Внешний вид	Прозрачная однородная жидкость желтого или коричневого цвета
Плотность, кг/м^3	(1,17—1,19) 10^{-3}
Вязкость, Па·с	(10,5—17,5) 10^{-3}
Растворимость в ацетоне	Полная (раствор должен быть прозрачным, без осадка)
Жизнеспособность (ч) при 80 °С	Отсутствие гелеобразования после прогревания в течение 6 ч
Время (ч) набора полной прочности при 20°	24
Усадка при полимеризации, %	10
Предел прочности (МПа) при отрыве на образцах из алюминиевого сплава	250
Температурный диапазон работоспособности, °С	—193÷150
Коэффициент температуропроводности, м^2/ч	$0{,}3 \cdot 10^3$
Гарантийный срок хранения	12 мес

Последовательность операций при герметизации деталей анаэробными герметиками: обезжиривание и сушка деталей сначала на воздухе в течение 15—30 мин, а затем в шкафу при 100—110 °С в течение 60 мин; удаление из пор детали воздуха и влаги в вакуумной камере; трехразовое погружение деталей в герметик при температуре 40—45 °С на 15—20 мин с промежуточной выдержкой на воздухе 15—30 мин; отверждение герметика при температуре 15—35 °С в течение 24 ч.

При подогреве деталей процесс отверждения ускоряется. В этом случае сначала детали отверждают при 15—35 °С в течение 3 ч на воздухе, а затем при 80—90 °С в течение 2—2,5 ч и окончательное отверждение производят при 90—120 °С в течение 1—2 ч. Остатки герметика с поверхностей деталей удаляют окунанием деталей в растворитель (ацетон) спустя 24 ч после начала отверждения.

Капиллярный эффект позволяет герметизировать отливки также путем нанесения анаэробного материала кистью на дефектные участки с наружной и при возможности с внутренней сторон. В этом случае неотвержденный

на поверхности отливки герметик снимают хлопчатобумажной салфеткой. Анаэробные материалы успешно применяют для герметизации отливок, а также для заделки пор перед нанесением на отливки различных гальванических покрытий.

Заделка дефектов эпоксидными замазками. Быстротвердеющие замазки на основе эпоксидных смол (ЭД-5, ЭД-6, ЭД-20 и др.) применяют для исправления различных дефектов, ухудшающих товарный вид отливок. Преимущества эпоксидных замазок: быстрое отверждение, высокие пластичность и склеивающая способность, значительная стойкость против разрушающего действия воды, растворов щелочей, кислот, малая усадка, хорошая обрабатываемость и др.

Помимо эпоксидных смол в состав замазок входят: отвердитель (полиэтиленоламин), пластификатор (дибутилфталат) и различные наполнители (маршалит, серебристый графит, алюминиевая пудра, абразивная крошка, железный порошок, цемент и др.).

Для заделки мелких дефектов (ужимин, несквозных раковин и др.) на медных отливках применяют быстротвердеющую замазку следующего состава, мас. части: эпоксидной смолы ЭД-20 100; железного порошка (марки ВС) или портландцемента (марки 300—500) 30—35; полиэтиленоламина 12—14; дибутилфталата 20.

Перед заделкой дефектов эпоксидными композициями дефектный участок отливки подогревают до 60—80 °С. Скорость отверждения замазки зависит от температуры детали. При температуре 18—20 °С отверждение происходит в течение 4—5 ч, а при подогреве до 80—100 °С в течение 0,5 ч.

Для заделки дефектов на отливках из алюминиевых сплавов применяют замазки следующего состава, мас. части: эпоксидной смолы ЭД-20 100; полиэтиленоламина 12—14; дибутилфталата 10—15; алюминиевой пудры 8—10.

После затвердевания замазки исправленное место зашлифовывают абразивными кругами или шкуркой, обдувают и закрашивают грунтовкой. Замазка на основе эпоксидной смолы прочно сцепляется с основным металлом, не отслаивается при ударах, не теряет свойств при температуре до 150 °С.

3. Контроль качества отливок

Целью контроля являются выявление дефектов в отливках и определения соответствия химического состава, механических свойств, структуры и геометрии отливок требованиям ТУ и чертежа. Контролю могут подвергаться как уже готовые отливки, так и технологические процессы по их изготовлению. Так, контролируют следующие параметры технологических процессов: состав формовочных и стержневых смесей, режимы сушки и подогрева форм, режимы плавки и заливки сплавов и др.

Первый осмотр готовых отливок проводят после их выбивки или извлечения из формы. Признанные годными отливки поступают на дальнейшие технологические операции: обрезку, обрубку, очистку, отделку или предварительную обработку резанием. Методы и средства контроля оговаривают в ТУ на отливки.

Методы контроля подразделяют на разрушающие и неразрушающие. Разрушающему контролю подвергают обычно опытные отливки для установления соответствия их качества ТУ и необходимости доработки технологии литья перед запуском в серийное производство, а также детали, технологический процесс изготовления которых изменился. Разрушающие методы контроля предусматривают определение химического состава материала отливок, механических свойств отдельно отлитых или вырезанных из тела отливки образцов, изучение ее макро- и микроструктуры, в том числе определение балла пористости и неметаллических включений.

К неразрушающим методам контроля относятся: измерение размеров и шероховатости поверхности отливки, визуальный осмотр их поверхности, а также специальные виды контроля (рентгеновский, гамма-дефектоскопия, ультразвуковой, цветная дефектоско-

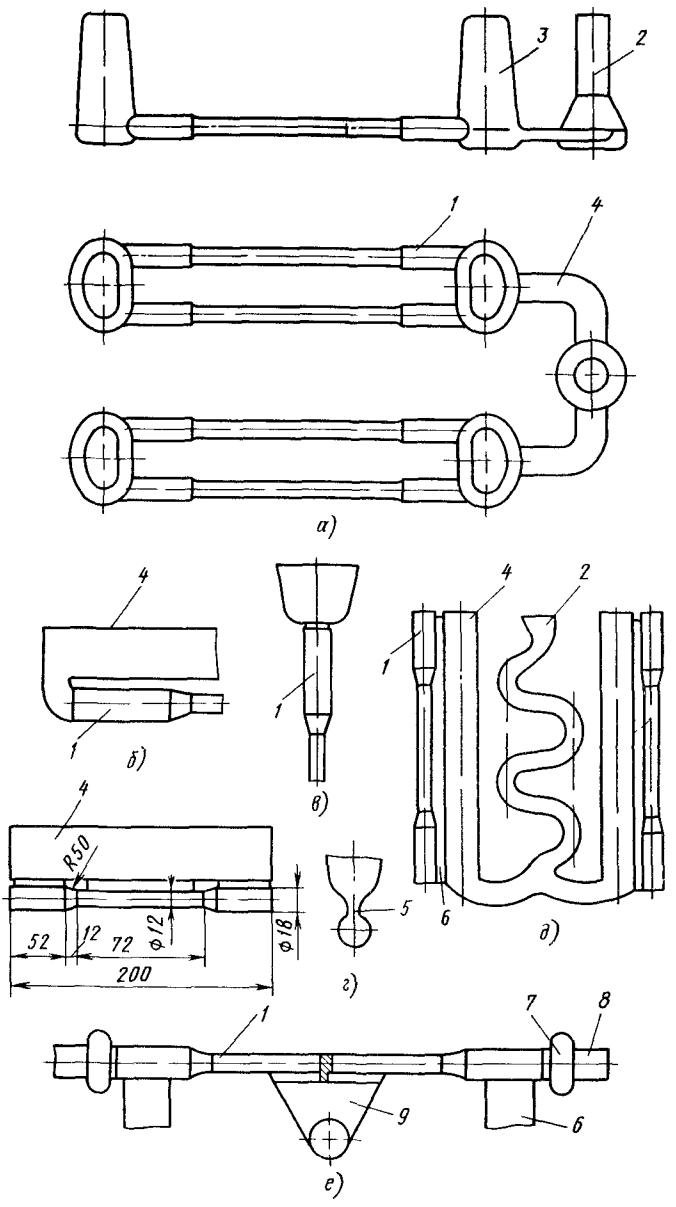


Рис. 5. Схемы отливки образцов для механических испытаний при литье:

а — в песчаные формы; *б—д* — в кокиль; *е* — под давлением; *1* — образец; *2* — стояк; *3* — прибыль; *4* — коллектор; *5* — питатель; *6* — щелевой питатель; *7* — промывник; *8* — воздуховод; *9* — литник

пия, люминесцентный и др.), контроль твердости, испытания на герметичность и вакуумную плотность.

Визуальному осмотру на оценку качества поверхности и выявление видимых дефектов подвергают все отливки. Однако мелкие наружные дефекты, а также внутренние могут быть выявлены только специальными методами их обнаружения. Контроль химического состава сплавов осуществляется с применением химических и спектральных методов анализа.

Механические испытания проводят либо на отдельно отлитых образцах, либо на образцах, вырезаемых из брусков, отливаемых вместе с отливками или из приливов к отливкам и элементов литниковой системы, что должно быть оговорено в ТУ на отливки.

Схемы отливки и размеры контролируемых образцов для механических испытаний приведены на рис. 5. При литье в землю образцы отливают по общепринятой методике (рис. 5, *а*). При литье в кокиль наиболее высокие механические свойства получают при отливке по схеме, приведенной на рис. 5, *г*. В этом случае образцы по всей длине обеспечены достаточным питанием, особенно в расчетной части.

Однако при отливке образцов по схемам, приведенным на рис. 5, *г* и *д*, усложняется обрезка литников и поэтому в некоторых случаях предпочитают отливку по схеме на рис. 5, *б*, так как эта схема гарантирует к тому же достаточно высокие механические свойства. При отливке по схеме на рис. 5, *в* получают наихудшие показатели механических свойств. Заливку образцов во всех случаях следует проводить при установившемся температурном режиме кокиля.

При литье под давлением наиболее распространена методика для отливки плоских образцов, приведенная на рис. 5, *е*, так как по этой методике получают образцы с высокими механическими свойствами благодаря равномерному прогреву формы в зоне расположения образца и более эффективному использованию запрессовки на расчетной части образца.

Контроль геометрии отливок осуществляют стандартным и специальным ручным и стационарным мерительным инструментом. При необходимости разрезают одну-две отливки от партии. При пробной разметке титановых отливок следует учитывать значительные трудности их разрезки по сечениям в соответствии с чертежом детали. Поэтому для контроля серийного титанового литья особенно целесообразно применение специальных шаблонов и другого специального мерительного инструмента.

Отливки, прошедшие контроль, подразделяют на годные, с исправимыми дефектами, бракованные, подлежащие сдаче в изолятор брака. Дефекты отливок группы II исправляют методами и способами, оговоренными в ТУ.

Неразрушающие методы контроля внутренних и наружных дефектов отливок. Чувствительность и области применения методов неразрушающего контроля приведены в табл. 8. Для выявления внутренних дефектов отливок из цветных сплавов наибольшее распространение получил рентгеновский метод.

Другие методы контроля внутренних дефектов (ультразвуковой и гамма-дефектоскопия) применяются реже. Это обусловлено тем, что отливки, как правило, имеют сложную конфигурацию (что затрудняет использование ультразвука) и относительно небольшую толщину стенок, при просвечивании которых чувствительность рентгеновского метода выше, чем метода гамма-дефектоскопии.

При рентгеновском просвечивании сложных с разными толщинами стенок отливок их разбивают на отдельные участки и подбирают режимы просвечивания для каждого участка. В противном случае на рентгенограмме получатся участки с различной плотностью, что препятствует ее расшифровке. При рентгено- и гаммаграфировании не гарантируется выявление мелких трещин, расположенных в плоскости, составляющей с направлением проходящих лучей угол более 5—15°. Для рентгеновского контроля используют аппараты мощностью 1—4 кВА отечественного производства и зарубежных фирм (табл. 9).

Наиболее чувствительными методами контроля наружных дефектов отливок являются капиллярные: цвет-

8. Чувствительность неразрушающих методов контроля и области их применения

Метод контроля	Внутренние дефекты — усадочные и газовые		Наружные дефекты		Выявляемые дефекты
	раковины	пористость	песчаные и шлаковые раковины	трещины	
Рентгеновский	Высокая			Зависит от местоположения	Внутренние и наружные любых отливок
Гамма-дефектоскопия	Высокая	Низкая	Высокая	То же	Внутренние и наружные отливок средних и больших толщин
Ультразвуковая дефектоскопия	Высокая		Низкая	»	Внутренние в отливках простой конфигурации с обработанной поверхностью или поверхностью с низкой шероховатостью
Цветная дефектоскопия	Низкая		Высокая		Наружные в любых отливках с обработанной поверхностью и поверхностью с низкой шероховатостью
Люминесцентный	Низкая		Высокая		Наружные в любых отливках

ная дефектоскопия и люминесцентный контроль. Оба метода основаны на капиллярном проникновении жидкости, обладающей большой смачивающей способностью, в полости наружных дефектов контролируемых отливок. В смачивающую жидкость вводят либо краситель (цветная дефектоскопия), либо люминесцирующую добавку (люминесцентный метод).

Технологический процесс контроля капиллярными методами состоит из следующих операций: подготовки отливки, нанесения проникающей жидкости, удаления излишков жидкости с поверхности, нанесения на поверхность отливки веществ с большой абсорбционной способностью, проявления дефектов и осмотра отливки.

Метод цветной дефектоскопии рекомендуется для контроля обработанных резанием поверхностей отливок, полученных точными методами литья, а также зачищенных поверхностей отливок, так как эффективность выявления дефектов на грубых поверхностях значительно снижается. Этот метод позволяет выявить поверхностные трещины шириной 0,01 мм при глубине 0,03—0,4 мм.

Для выявления дефектов люминесцентным методом используют дефектоскоп ЛД-4.

Техническая характеристика дефектоскопа ЛД-4

Размеры выявленных трещин, мм, не менее:	
ширина	0,01
глубина	0,02
Напряжение трехфазной сети, В	320/220
Потребляемая мощность, Вт	2,0
Габаритные размеры, мм	1015×1240×766
Масса, кг	50

9. Основные технические характеристики рентгеновских аппаратов

Аппарат	Диапазон анодного напряжения, кВ	Максимальный анодный ток, мА	Мощность, кВт; кВА	Масса, кг	Характеристики просвечиваемой отливки	
					Основа сплава	Наибольшая толщина, мм
РУТ-60-20-1М	10—60	20	2,5	120	Mg Al Ti Fe	90 70 10 4
РАП-150-01	35—150	2	2,5	42	Mg Al Ti Fe	200 140 45 18
РАП-150/300-01 РАП 150/300-12	0—300 0—160	15	5,0 2,5	1240 920	Mg Al Ti Fe Cu	250 200 50 22 15
РУП-200-5-2	70—200	5	2,0	88	Ti Fe Cu	80 40 30
РУП-400-5-1	250—400		4,0	600	Fe Cu	75 58
РАП-120-5-1	50—120		1,0	45	Mg Al Ti Fe Cu	150 130 40 15 11
РАП-220-5Н	40—220		2,5	62	Mg Al Ti Fe Cu	240 20 65 30 20

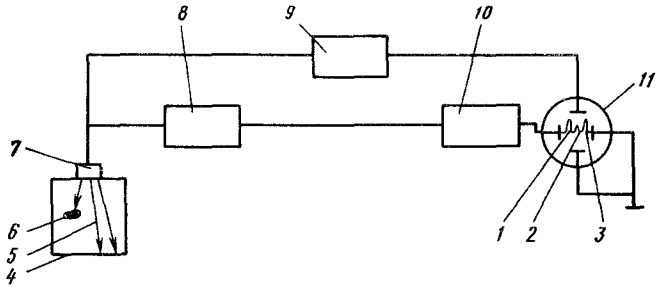


Рис. 6. Блок-схема импульсного ультразвукового дефектоскопа:

1 — начальный импульс; *2* — импульс от дефекта; *3* — донный импульс; *4* — контролируемая отливка, *5* — пучок ультразвуковых волн; *6* — дефект; *7* — искательная головка; *8* — генератор импульсов; *9* — задающий генератор; *10* — генератор развертки; *11* — электронно-лучевая трубка

Ультразвуковая дефектоскопия, основанная на поглощении и отражении звуковых волн в твердых телах, является производительным и качественным методом обнаружения несплошностей металла (раковин, трещин, рыхлот, неметаллических включений и др.). В большинстве случаев этот метод применяют для определения качества отливок несложной формы. Однако использование для ввода ультразвуковых колебаний специальных искательных головок с контактными поверхностями, выполненными по форме контролируемого участка детали, позволяет применять этот метод и для контроля отливок сложной конфигурации с грубой, шероховатой поверхностью. Особенно эффективен этот метод в условиях эксплуатации литых деталей, так как позволяет обнаруживать дефекты (усталостные трещины и др) на ранних стадиях их образования без разбора узла машины или прибора. Наиболее часто для контроля качества отливок применяют теневой, резонансный и импульсный (эхо-метод) методы ультразвуковой дефектоскопии.

Теневой метод используют в тех случаях, когда к отливке имеется доступ с двух сторон. Здесь ультразвуковые колебания возбуждаются с одной стороны отливки, а принимаются — с другой. При прохождении через неоднородность в отливке колебания ослабевают.

Резонансный метод используют при контроле отливок небольшой толщины из материалов, обладающих высокими акустическими свойствами. Метод удобен при одностороннем доступе к литой детали. При импульсном методе, применяемом для контроля крупных отливок сложной формы, в изделие посылают короткие следующие один за другим с определенным интервалом импульсы длительностью τ. Отраженный от дефекта луч воспринимается приемником ультразвуковых колебаний, измеряется время, через которое вернулся сигнал, и интенсивность сигнала. Зная скорость распространения колебаний в материале отливки, можно рассчитать место расположения дефекта. Интервал между импульсами обычно составляет $t = (2 \div 3)\,\tau$, что предотвращает попадание отраженного луча в приемник в момент излучения.

Схема импульсного дефектоскопа, работающего по эхо-методу, приведена на рис. 6. Дефектоскоп имеет искательную головку — устройство, непосредственно излучающее ультразвуковые колебания в деталь и принимающее отраженный импульс. Конструктивная схема головки показана на рис. 7.

Дефектоскопию отливок из цветных сплавов обычно проводят на частотах 0,5—10 МГц. Глубина проникновения продольных ультразвуковых колебаний в металл зависит от материала и частоты прозвучивания (табл. 10).

Технические характеристики универсальных ультразвуковых дефекто-

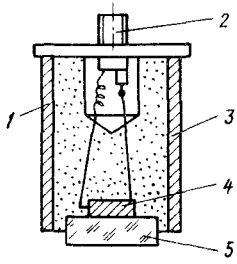


Рис. 7. Искательная головка ультразвукового дефектоскопа:
1 — корпус; *2* — контакт; *3* — демпфер; *4* — пьезоэлемент; *5* — защитное донышко

скопов приведены в табл. 11.

Для автоматического контроля слитков и фасонных отливок из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов с целью выявления раковин, трещин, расслоений, металлических и неметаллических включений наибольшее распространение получили установки типа «Сплав-1». Установка укомплектована дефектоскопами типа УДМ-1М и ДУК-66 и снабжена самопишущим прибором Н-320-5, выполняющим функции регистрирующего устройства.

Краткая техническая характеристика установки «Сплав-1»

Размеры контролируемого изделия, мм:	
диаметр	200—600
длина	До 1600
Частота вращения изделия, об/мин	2—20
Скорость перемещения ультразвукового датчика, мм/мин	18—180
Диаметр минимально выявляемого плоскодонного отражателя, мм	2,5
Шаг сканирования, мм	1—10
Время контроля изделий диаметром 350 мм, мин	10
Рабочая частота ультразвуковой установки, МГц	0,5; 0,8; 1,5; 2,2; 2,5; 4
Габаритные размеры, мм:	
иммерсионной ванны	2020×1000×760
пульта управления	500×1500×1600
Мощность, кВт	1,5
Напряжение, В	380

10. Частота прозвучивания и глубина проникновения волн при дефектоскопии отливок

Сплавы отливок	Частота прозвучивания, МГц	Глубина проникновения волн, мм
Алюминиевые	1—1,5	1000—1200
	2,5	400—500
Магниевые	1,8	До 600
	2,5	До 400
Титановые	1—1,5	1000—1200
	2,5	400—500

Токовихревой контроль основан на возбуждении в изделии вихревых токов, величина которых зависит от наличия дефектов, структуры и свойств материала. Метод используют в основном для выявления поверхностных дефектов (например, усталостных трещин) и дефектов, расположенных не глубже 4—5 мм от поверхности.

Техническая характеристика электроиндуктивного дефектоскопа ДНМ-1,5, работающего по методу вихревых токов по стрелочному индикатору

Удельная электропроводность сплавов, МОм/м	8—59
Минимальные размеры выявляемых трещин (длина × ширина × глубина), мм	5×0,002×0,15
Рабочая частота тока, кГц	15
Диаметр рабочей части датчика, мм	10
Питание:	
напряжение, В	220
частота, Гц	50
Потребляемая мощность, В·А	60
Габаритные размеры прибора, мм	296×170×250
Масса, кг	8

11. Технические характеристики универсальных ультразвуковых дефектоскопов

Параметр	УДМ-1М	ДУК-6В	ДУК-66	УДМ-3
Частота прозвучивания, МГц	0,8—1,8 2,5—5,0	0,7—1,5— 2,5—4,0	0,62—1,25— 2,5—5,0— 10,0	0,6—0,8— 2,5—50
Максимальная глубина проникновения волн, мм	2500	5000	2500	2500
Питание:				
напряжение, В	220	220	110, 127 и 220	36, 72
частота, Гц	50	50	50	50
Мощность, В·А	110	350	300	180
Масса, кг	13	33	24,5	19
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	350×200× ×310	550×465× ×305	605×395× ×265	220×335× ×423

Контроль герметичности отливок. Отливки, работающие под внутренним давлением жидкости или газа, а также при разряжении (в вакууме), контролируют на герметичность. Гидравлические, пневматические испытания или проверку герметичности отливки специальными течеискателями проводят на специальных стендах.

Гидравлические испытания выполняют с целью проверки отливок на прочность и плотность. Перед испытаниями отливку герметизируют водонепроницаемыми заглушками, крепление которых рассчитано на определенное давление. Изделие заполняют водой или керосином.

Гидравлическое давление, число испытаний и время выдержки устанавливаются чертежом или ТУ на изготовление и приемку отливок. Проницаемость стенок отливки определяют по появлению течи, по просачиванию воды (керосина) в виде капель и по запотеванию поверхности отливки. Давление воды при гидравлических испытаниях обычно в 1,5—2 раза превышает рабочее давление, проставляемое на чертеже отливки.

При отработке технологии литья из вновь осваиваемых литейных сплавов их герметичность проверяют на специальном образце, представленном на рис. 8. Образец-стаканчик отливается в песчаную форму и обрабатывают его абразивным кругом либо до толщины стенки 4 мм, либо только со стороны донышка. В первом случае образец приравнивается к механически обработанной детали без литейной корочки, во втором — к детали с коркой.

Образец испытывается давлением инертного газа (рис. 9). Объем проникшего через стенки образца газа фиксируется в специальном измерительном цилиндре-бюретке. По величине утечки проводят качественную оценку в баллах степени герметичности сплава.

Для оценки герметичности можно также использовать многоступенчатую цилиндрическую пробу (рис. 10, *а*). В этом случае из средней части пробы (⌀ 40 мм) вырезают образец (рис. 10, *б*),

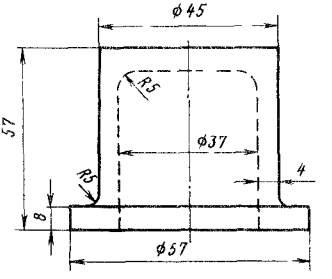


Рис. 8. Образец для испытания на герметичность

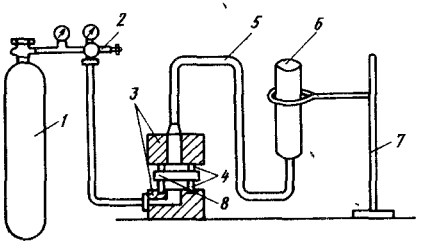


Рис. 9. Схема установки для определения герметичности литых образцов:
1 — баллон с инертным газом; *2* — редуктор; *3* — зажимные пластины; *4* — уплотнительные прокладки; *5* — мерная бюретка; *6* — перепускная колба; *7* — штатив; *8* — испытуемый образец

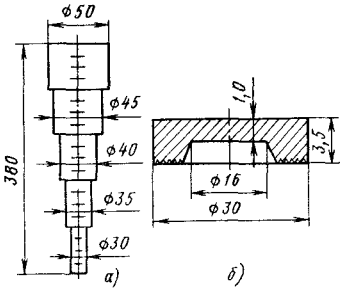


Рис. 10. Многоступенчатая цилиндрическая проба и дисковый образец, вырезаемый из средней части пробы для испытания на герметичность

который в зависимости от условий работы детали подвергают испытанию на герметичность или гидропрочность.

Обнаружение течи. Течь — это канал или пористый участок отливки или ее элементов, нарушающий их герметичность. Как правило, малые характерные размеры течей исключают возможность их визуального наблюдения или обнаружения всеми другими методами дефектоскопии, кроме методов проникающих веществ. При течеискании, особенно у крупных отливок, предварительно выявляют факт негерметичности, затем выделяют негерметичный участок (локализация течей), а затем уже выявляют места течей.

Для обнаружения в отливках мест течи широко используют люминесцентный метод и метод цветной дефектоскопии. С этой целью люмофорные жидкости наносят в зоне контроля на одну сторону отливки и с противоположной стороны подвергают ее облучению ультрафиолетовыми лучами. При наличии несплошностей в отливке люмофор проникает на другую сторону стенки литой детали и дает свечение в местах сквозных дефектов.

Для проверки на герметичность и обнаружения мест течи ответственных герметичных и вакуум-плотных отливок наиболее часто используют гелиевые и галогенные течеискатели, являющиеся весьма эффективным и чувствительным способом обнаружения несплошностей отливок.

Основные параметры выпускаемых промышленностью течеискателей приведены в табл. 12.

Принципиальная схема гелиевого течеискателя приведена на рис. 11. Из испытуемой отливки (перед присоединением к течеискателю) откачивают воздух отдельным вакуум-насосом. Вакуум измеряют вакуумметром. Одновременно с помощью вакуумных насосов и течеискателя в масс-спектрометрической камере создается высокий вакуум. После того как будет создано предварительное разрежение, испытуемую отливку присоединяют к течеискателю через дроссельный кран. Отливку снаружи обдувают тонкой струей гелия или воздушно-гелиевой смесью. Гелий проникает через мельчайшие неплотности литых стенок внутрь отливки и оттуда откачивается в вакуумную систему течеискателя, причем частично гелий попадает в масс-спектрометрическую камеру. Здесь происходит его улавливание, а ток, создаваемый ионами гелия и усиливаемый с помощью усилителя, приводит в действие индикатор и звуковой индикатор — сирену. По отклонению стрелки индикатора тока определяют величину неплотности в отливке.

Течеискатель СТИ-11 создан и унифицирован на базе ПТИ-10, но отличается наличием цеолитового насоса, обеспечивающего режим избирательного накопления гелия. Гелиевые течеискатели обладают наибольшей чувствительностью по сравнению с дру-

12. Основные параметры течеискателей

Модель течеискателя	Принцип действия	Порог чувствительности к потоку пробного газа, $м^3/Па \cdot с$	Пробный газ	Масса, кг	Потребляемая мощность, ВА	Габаритные размеры, мм	Питание
ПТИ-10	Масс-спектрометрический	$5 \cdot 10^{-13}$	Гелий	215	1100	1470×675×620	380 В; 50 Гц
ПТИ-11		$5 \cdot 10^{-15}$		260		1245×700×1325	
ГТИ-6	Галогенный	$1 \cdot 10^{-7}$ — атмосферный преобразователь $1 \cdot 10^{-9}$ — вакуумный преобразователь	Хладоны и другие галогеносодержащие вещества	10	75	360×160×200	220 В; 50 Гц
БТИ-7		$5 \cdot 10^{-7}$			40	89×304×330	12 аккумуляторов КМГК-10

гими методами контроля отливок на герметичность. Ценным свойством гелия является его инертность. Это

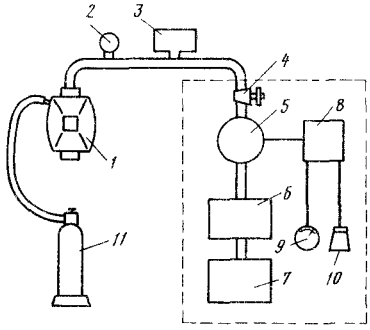


Рис. 11. Принципиальная схема гелиевого течеискателя:

1 — испытуемая отливка; *2* — вакуумметр; *3* — вакуум-насос; *4* — дроссельный кран; *5* — масс-спектрометрическая камера; *6* и *7* — вакуум-насосы течеискателя; *8* — усилитель тока; *9* — индикатор; *10* — сирена; *11* — баллон с гелием

позволяет производить подварку дефектных мест отливок без специальной подготовки их поверхности.

Галоидный метод основан на явлении скачкообразного возрастания эмиссии положительных ионов с накаленного платинового электрода в присутствии галоидосодержащих газов (фреона, четыреххлористого углерода, хлороформа и др.). Стационарный течеискатель ГТИ-6 способен работать как в условиях вакуума, так и в атмосфере, а переносный БТИ-7 — только в атмосфере. В отличие от гелиевых галоидные течеискатели (рис. 12) можно использовать для выявления более грубых дефектов — несплошностей отливок, когда не удается обеспечить в отливке вакуум из-за большого натекания.

Оценка шероховатости поверхности отливок. Снижение шероховатости поверхности литых деталей имеет большое значение для повышения их служебных свойств и сокращения зачистных работ.

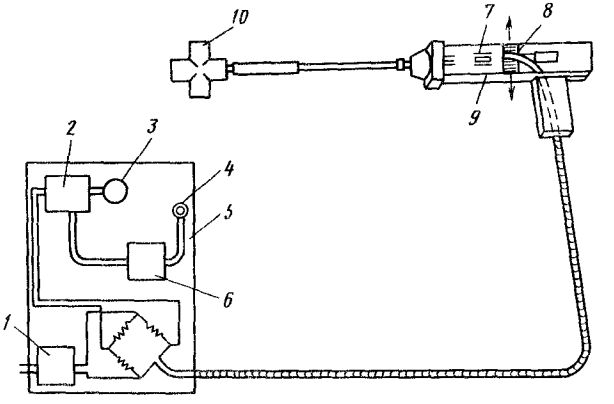


Рис. 12. Схема галоидного течеискателя:

1 — стабилизатор напряжения; *2* — усилитель постоянного тока; *3* — миллиамперметр; *4* — гнездо телефона; *5* — измерительный блок, *6* — генератор звуковых колебаний; *7* — электроды; *8* — вентилятор; *9* — выносной щуп; *10* — испытываемое изделие

Качество поверхности чаще всего определяют при визуальном осмотре сравнением с эталонной отливкой и реже — со специально изготовленными для этой цели эталонами шероховатости поверхности. Рассматриваемые далее методы оценки шероховатости применяют в основном в лабораторных условиях при отработке новых технологических процессов и освоении новых серий отливок.

Оценку шероховатости на соответствие ТУ проводят на отливках, прошедших очистку согласно установленному техническому процессу на участках поверхности, лишенных литейных дефектов. В табл. 13 представлены методы определения шероховатости поверхности.

Качественный метод основан на сравнении исследуемой поверхности с эталонами шероховатости. Количественный метод предусматривает измерение микропрофиля поверхности контактными (профилографы) и бесконтактными (профилометры) приборами и оценку шероховатости в параметрах, предусмотренных ГОСТ 2789—73.

Эталоны шероховатости представляют собой набор образцов (плиток) с заранее установленной шероховатостью для конкретного вида литья и применяемого литейного сплава. Шероховатость литой поверхности сравнивают с эталоном путем визуального сопоставления или сопоставления ощущений, полученных при ощупывании контролируемой поверхности и эталона. Этот метод применяют для текущего контроля производства отливок. Эталоны шероховатости изготовляют различными способами: гальванопластическим с пластмассовых негативных слепков, заливкой легкоплавкого (типографского) сплава на наждачное полотно различной зернистости и др.

Измерение шероховатости поверхности контактным и бесконтактным способом выполняют непосредственно на отливках или вырезанных из них образцах. Принцип действия профилографов состоит в ощупывании контролируемой поверхности алмазной иглой с радиусом закругления 2 или 10 мкм. Перемещение иглы по неровностям поверхности детали регистрируется специальной индуктивной или электронной системой, сигналы датчиков которой усиливаются и передаются на записывающее устройство, выдающее профилограмму неровностей поверхности.

Работа профилометров—оптико-механических устройств—основана на принципе теневого сечения (приборы ПТС

13. Методы определения шероховатости поверхности

Метод	Применяемые приборы	Измеряемые параметры по ГОСТ 2789—73
Качественный — сравнение с эталонами шероховатости поверхности	Пневматические, оптические, емкостные	*Rz*
Количественный [щуповой (контактный) или оптический (бесконтактный)]	Профилометры, профилографы, профилометры-профилографы	*Ra*; *Rz*
	Приборы, действие которых основано на принципе светового сечения	*Ra*
	Приборы, действие которых основано на принципе теневого сечения	*Ra*
	Интерферометры	*Ra*; *Rz*
Измерение микропрофиля поверхности на шлифах	Металлографические микроскопы	*Ra*; *Rz*

15. Параметры микроинтерферометров для контроля шероховатости поверхности отливок

Тип	Увеличение	Диапазон контролируемых величин, мкм	Погрешность, мкм	Примечание
МИИ-4	490	1—0,03	0,1	С компенсатором Карташева пределы измерения 4—30 мкм
МИИ-5	480	1—0,03	0,1	
МИИ-10	500	0,1—10	0,1	

16. Число и диаметры пор в эталонах пористости для алюминиевых сплавов

Балл пористости	Число пор на 1 см², не более	Диаметр пор, мм, не более
I	5	0,1 (90); 0,2 (10)
II	10	0,1 (80); 0,2 (20)
III	15	0,3 (80); 0,2 (20)
IV	20	0,5 (70); 1,0 (30)
V	25	0,5 (60); 1,0 (30); 1,2 (10)

Примечание. В скобках приведено число пор данного диаметра в процентах.

14. Параметры приборов для контроля шероховатости методом светового и теневого сечения

Модель прибора	Параметр			
	Сечение	Увеличение	Параметр шероховатости, мкм	Погрешность измерения, %
МИС-11	Световое	87—517	1,6—80	±7—20
ПСС-2	»	75—750	3,2—40	±10
ПТС-1	Теневое	30	4—320	±0,01

и светового сечения (приборы ПСС). Технические характеристики этих приборов приведены в табл. 14.

Ввиду большой трудоемкости измерения оптические приборы применяются в основном для выборочного контроля отливок. Для оценки поверхности отливок с низкой шероховатостью можно использовать микроинтерферометры. Параметры некоторых типов микроинтерферометров приведены в табл. 15.

Метод измерения микропрофиля поверхности на шлифах, приготовленных из вырезанной части отливки, трудоемок и поэтому применяется в основном для экспертной оценки и исследовательских работ.

Оценка газосодержания и пористости отливок. Насыщение расплавов газами приводит к развитию в отливках газовой пористости, вызывающей снижение их механических и служебных свойств. Особенно заметно влияние пористости на качество отливок из алюминиевых сплавов. В производственных условиях пористость отливок оценивают по макрошлифам, рентгеноконтролем, а также непосредственным определением содержания водорода в жидком расплаве перед его разливкой в формы.

Макрошлифы готовят из образцов, вырезанных из деталей (разрезается одна деталь из партии отливок) или специальных приливов к отливке. Макрошлифы травят, причем травление должно быть незначительным, чтобы выявляющаяся кристаллическая структура не мешала определению пористости.

Пористость на макрошлифах отливок сравнивают с эталонами по шкале пористости. Для алюминиевых сплавов такая шкала разработана по пятибалльной системе. Число и размеры пор, приходящихся на 1 см² поверхности шлифа, по этой шкале приведены в табл. 16.

Сопоставляя макрошлифы с эталонами пористости, можно оценивать качество металла на отдельных участках отливок. При оценке пористости рентгеновским контролем проводят сравнение рентгеноснимков отливок или образцов (рис. 13), вырезаемых из специально заливаемой для этой цели технологической пробы, с эталонами пористости.

По данным С. В. Чернобровова установлено соотношение шкал пористости по макрошлифам и рентгенограммам: баллы I и II пористости по макрошлифам соответствуют баллам I и II пористости рентгеношкалы; балл III шкалы микрошлифов — баллам III и IV рентгеношкалы, балл IV макрошлифа — баллам IV и V рентгеношкалы.

Между эталонами пористости (баллы), газосодержанием алюминиевых сплавов (V) и плотностью (γ) существует определенная взаимосвязь:

Балл пористости	I	II	III	IV	V
γ, 10^{-3} кг/м³	2,658—2,669	2,656—2,658	2,642—2,645	2,632—2,640	2,556—2,589
V, см³/100 г	0,35—0,40	0,40—0,65	0,65—1,0	1,0—1,3	1,3—1,6

С увеличением газосодержания, а следовательно, и балла пористости плотность материала отливки снижается. Пользуясь данными таблицы и определив содержание водорода в жидком сплаве, можно предположительно

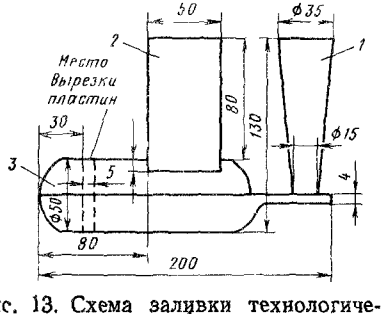


Рис. 13. Схема заливки технологической пробы для контроля газовой пористости рентгенопросвечиванием.
1 — стояк; *2* — прибыль; *3* — цилиндрическая проба

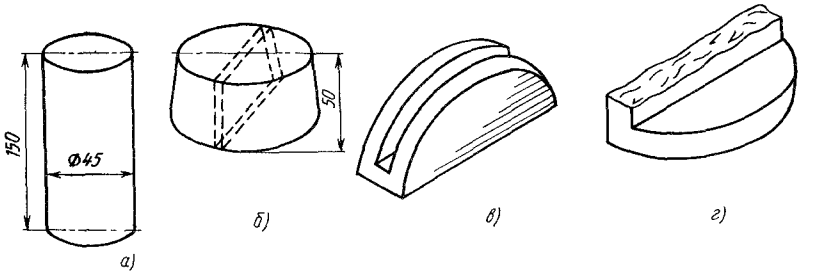


Рис. 14. Заготовка технологической пробы на содержание оксидных пленок: *а* — после литья; *б* — после осадки на молоте; *в* — после надреза; *г* — после излома

установить балл пористости будущих отливок.

Для определения содержания водорода в жидких алюминиевых расплавах в производственных условиях наибольшее применение получили: метод первого пузырька (метод Гудченко), масс-спектрометрический метод и метод измерения скорости экстракции водорода через пористый фильтр.

Оценка твердых включений. Для оценки загрязненности отливок оксидными включениями применяют рентгеноконтроль, изучают макрошлифы и изломы. Рентгенопросвечивание является одним из основных методов производственного контроля серийных отливок на наличие в них твердых включений.

В зависимости от характера включений, их размеров и расположения, а также требований ТУ отливки бракуют либо пускают в производство с некоторым количеством оксидных включений.

Изучение макрошлифов и изломов применяют главным образом при отработке технологии литья. На макрошлифах и изломах не всегда удается обнаружить окисные включения вследствие случайного характера их залегания. Поэтому анализ шлифов и изломов целесообразно проводить после рентгенопросвечивания.

Оценку насыщенности крупными оксидными включениями жидких алюминиевых расплавов можно выполнить на образце высотой 100—150 и диаметром 50 мм, вырезанном из толстой части ступенчатой технологической пробы, отлитой в кокиль (см. рис. 10), либо специально изготовленном для этой цели — проба В. И. Добаткина и В. К. Зиновьева (рис. 14).

Заготовку нагревают в течение 2—3 ч до 420—450 °С и осаживают на молоте до высоты 25—30 мм. Осаженную заготовку надрезают и ломают, причем плоскость излома должна быть параллельна торцам заготовки и проходить примерно через середину пробы. Загрязненность оценивают отношением

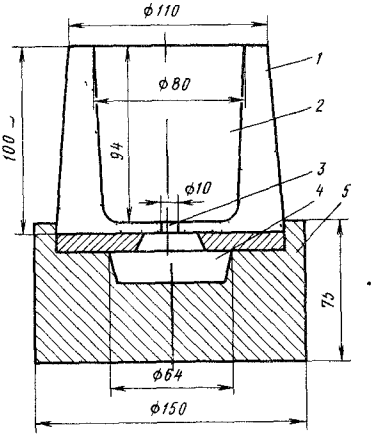


Рис. 15. Схема заливки технологической пробы для качественной оценки загрязненности расплава водородом и тонкодисперсными взвесями:

1 — песчаная форма; *2* — верхняя часть пробы; *3* — литник; *4* — нижняя часть пробы; *5* — графитовая изложница (кокиль)

площади плен в изломе, выраженной в квадратных миллиметрах, к площади излома, выраженной в квадратных сантиметрах.

Качественную оценку загрязненности расплавов тонкодисперсными взвесями и водородом проводят с помощью технологической (структурной) пробы А. Г. Спасского и Е. Н. Кулагиной (рис. 15). Небольшую порцию расплава заливают в подогретую до 150—200 °С графитовую изложницу (кокиль). При кристаллизации на поверхности верхней части пробы происходят точечные разрывы окисной пленки, представляющие собой следы пузырьков выделяющегося газа. По количеству разрывов, сравнивая пробу с эталонами, судят о степени газонасыщенности. Загрязненность тонкодисперсными взвесями определяется размерами макрозерен на поверхности нижней части пробы. Малому содержанию взвесей соответствует крупное зерно. Степень загрязненности находят сопоставлением структурной пробы с эталонами.

Данная технологическая проба позволяет также оценить пористость количественно. Для этого необходимо сравнить плотность образца вырезанной части пробы, отливаемой в песчаную форму, с плотностью эталонного образца нижней части пробы и выразить это отношение в процентах. Быстрое охлаждение нижней части пробы, кристаллизующейся в кокиле, исключает пузырьковое газовыделение и ее плотность достигает предельного значения. Медленное охлаждение расплава в верхней части пробы песчаной формы обеспечивает полноту пузырькового газовыделения, вызывает соответствующее развитие пористости и снижение плотности этой части пробы.

Глава XI

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЛИТЬЕ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

1. Общие положения

На предприятии администрацией обеспечивается контроль за рациональной организацией производства и труда, соблюдением работающими всех требований, содержащихся в инструкциях по технике безопасности, которые составляются для каждого вида работ в литейном цехе.

При технологических процессах производства отливок из цветных металлов и сплавов возможно воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов. Основными из них являются: пыль дезинтеграции и конденсации; выделение паров и газов; избыточное выделение теплоты; повышенный уровень шума, вибрации электромагнитных и ионизирующих излучений; опасность поражения электрическим током; пожаро- и взрывоопасность; воздействие движущихся машин и оборудования.

Современные литейные цехи должны иметь: эффективную вентиляцию, обеспечивающую многократный обмен воздуха в цехе; систему местной вентиляции, предотвращающую выброс вредных выделений в атмосферу цеха; устройство воздушных душей или тепловых завес на рабочих местах; изоляционные устройства на шумопроизводящем оборудовании (такое оборудование рекомендуется размещать в специальных, изолированных помещениях).

Технологические процессы, организация и проведение литейных работ должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.3.002—75, ГОСТ 12.3.027—81 и ГОСТ 12.3.024—80.

2. Производственная санитария

Воздействие на работающего опасных производственных факторов: физического (контакт с движущимися частями механизмов, электрическими токопроводами, расплавленным металлом), химического (контакт с токсическими веществами) и других факторов может вызвать тяжелые травмы, профессиональные отравления и заболевания.

Факторами, определяющими действие вредных веществ на организм человека, являются:

химические свойства вещества (токсичность);

дисперсность вещества — чем выше дисперсность, тем больше опасность отравления; наиболее опасны вещества, находящиеся в паро- или газообразном состоянии, в виде дымов или туманов;

концентрация веществ во вдыхаемом воздухе — чем выше концентрация, тем скорее может наступить отравление;

продолжительность действия вещества;

комбинированное действие веществ.

Пыль алюминия и титана; пыль и окись вольфрама, кадмия, магния, меди, молибдена, олова, цинка; пыль и порошкообразные отходы кобальта; пыль и соли никеля и пары электролитов никеля; пары ртути, окиси свинца, образующиеся в процессе заготовки и переработки цветных металлов и сплавов, являются токсичными и оказывают вредное воздействие на организм человека.

При работе с этими веществами следует руководствоваться требованиями

1. Токсикологическая характеристика металлов

Металл	Характер действия на организм человека	Пути проникновения	Класс опасности	ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м³	ПДК вредных веществ в питьевой воде, мг/л
Алюминий	Пыль вызывает раздражение слизистой оболочки глаз, носа, рта, поражение легких (алюминоз легких)	Органы дыхания	3	2,0	0,5
Вольфрам	Пыль и окись вольфрама вызывают нарушение деятельности желудочно-кишечного тракта, раздражение верхних дыхательных путей. Уколы проволоки заживают с трудом			6	0,1
Кадмий	Пыль и окись кадмия вызывают поражение центральной нервной системы, внутренних органов, нарушение фосфорно-кальциевого обмена, поражение желудочно-кишечного тракта		1	0,1	
Кобальт	Пыль вызывает нарушение углеводного обмена, изменение строения и функции щитовидной железы, поражение сердечно-сосудистой системы, пищеварительного тракта		2	0,5	—
	Порошкообразные отходы вызывают возникновение острого дерматита	Кожный покров			
Магний	Пыль и окись магния вызывают воспалительно-гнойные процессы кожного покрова			1,0	15

Продолжение табл. 1

Металл	Характер действия на организм человека	Пути проникновения	Класс опасности	ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м³	ПДК вредных веществ в питьевой воде, мг/л
Медь	Пыль и окись меди вызывают: раздражение верхних дыхательных путей, желудочно-кишечного тракта, функциональные расстройства нервной системы	Органы дыхания, желудочно-кишечный тракт	2	1,0	1,0
Молибден	Пыль и окись молибдена вызывают функциональные нарушения обменных процессов	Органы дыхания, желудочно-кишечный тракт	3	4,0	0,5
Никель	Пыль оказывает токсическое действие, вызывая нарушение центральной нервной системы, снижение кровяного давления	Органы дыхания	1	0,05	0,1
	Вызывает аллергическое заболевание кожи	Кожный покров			
	Пары электролитов, соли оказывают канцерогенное действие — вызывают рак: бронхиальный, носа, легких, желудка	Органы дыхания			
	Соли оказывают токсическое действие, поражение кожи («никелевая экзема», «никелевая чесотка»)	Кожный покров			
Олово	Пыль и окись олова вызывают заболевание легких, хронический бронхит, дыхательную недостаточность	Органы дыхания	—		—
Титан	Пыль вызывает раздражение органов дыхания		4	10	

Продолжение табл. 1

Металл	Характер действия на организм человека	Пути проникновения	Класс опасности	ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м³	ПДК вредных веществ в питьевой воде, мг/л
Цинк	Пыль и окись цинка вызывают заболевание верхних дыхательных путей, изменение в желудочно-кишечном тракте	Органы дыхания, желудочно-кишечный тракт	3	6	5
Ртуть	Пары вызывают нарушение кальциевого обмена, изменение белков крови, снижение защитных функций организма, поражение центральной нервной системы, пищеварительного тракта	Органы дыхания	1	0,001	0,005
Свинец	Окись свинца вызывает нарушение обменных процессов, поражение нервной системы, малокровие, язвенные болезни, нарушение энергетического баланса клетки	Органы дыхания, пищеварительный тракт		0,01	0,1
Хром	Окись хрома вызывает нарушение центральной нервной системы, аллергические заболевания, дерматиты				
Бериллий	Пыль и пар оказывают вредное влияние на кожный покров и слизистую оболочку, желудочно-кишечный тракт. Вызывает профессиональное заболевание «бериллез»	Органы дыхания, кожный покров		0,001	0,0002
Марганец	Пыль при длительном воздействии ядовита, вызывает головную боль, утомляемость	Органы дыхания	2	0,3	—
Литий	Пыль оказывает раздражающее действие на дыхательные пути, вызывает ожоги	Органы дыхания, кожный покров	1	0,05	

2. Основные вредные вещества, выделяющиеся при отверждении и термодеструкции стержневых смесей с синтетическими смолами и фенолоспиртом

Вещество	Смолы				
	КФ-МТ	КФ-90, КФ-40	СФ-411, ФПР-24 *	СФ-3042, фенолоспирт	ФФ-1Ф, ФФ-1С
Отверждение стержней					
Фенол	—	—	+	+	+
Формальдегид	+	+	+	+	+
Фурфурол	—	+	—	—	+
Фуриловый спирт	—	+	—	—	+
Метиловый спирт	+	+	+	+	+
Аммиак	—	—	—	+	—
Получение отливок					
Фенол	—	—	—	—	+
Формальдегид	—	+	—	—	+
Фуриловый спирт	—	+	+	+	+
Метиловый спирт	+	+	+	+	+
Аммиак	+	+	+	+	+
Цианиды	+	+	+	+	+
Окись углерода	+	+	+	+	+

* С добавкой фурилового спирта.

Примечания: 1. Знак «+» означает, что вещество выделяется при отверждении и деструкции стержней; знак «—» — что вещество не выделяется.

2. Группы смол: КФ-МТ — карбамидоформальдегидные; КФ-90 и КФ-40 — мочевиноформальдегидно-фурановые; СФ-411, ФПР-24 — мочевиноформальдегидно-фенольные; СФ-3042 и фенолоспирт — фенолоформальдегидные; ФФ-1Ф, ФФ-1С — фенолоформальдегидно-фурановые.

безопасности по ГОСТ 12.1.007—76.

Характер действия на организм человека вредных веществ, класс их опасности и предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны (по ГОСТ 12.1.005—88), а также в питьевой воде (по ГОСТ 2874—82) приведены в табл. 1.

Перечень вредных веществ, выделяющихся при изготовлении стержней из синтетических связующих, приведен в табл. 2.

3. Требования безопасности при производстве отливок из цветных сплавов

Подготовка лома и отходов цветных металлов должна проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 1639—78, а оборудование, применяемое для переработки лома цветных металлов, должно отвечать требованиям ГОСТ 12.2.055—81. Разделку материалов (лигатур, флюсов и т. п.), содержащих вредные компоненты, необходимо автоматизировать или механизировать.

Поступающие в цехи цветного литья шихтовые и формовочные материалы снабжают токсикологической характеристикой. Эти материалы должны соответствовать стандартам и техническим условиям. Применение новых материалов допускается только после их санитарно-гигиенической проверки и согласования с органами Государственной санитарно-эпидемиологической службы в установленном порядке.

Изготовление форм и стержней. Разработка, организация и выполнение

технологических процессов изготовления форм и стержней должны соответствовать ГОСТ 12.3.002—75, ГОСТ 12.3.027—81 и быть безопасными на всех стадиях:

хранения, транспортирования и подготовки исходных материалов;

приготовления формовочных и стержневых смесей;

изготовления и отделки форм и стержней;

комплектации и хранения форм и стержней, подготовленных для заливки.

Приготовление смесей для форм и стержней из песчано-смоляных смесей следует проводить по ГОСТ 12.3.024—80.

Сливоналивные операции ЛВЖ запрещается проводить во время грозовых (атмосферных) разрядов и вблизи от искрообразующих источников и электрических цепей. В помещениях должна быть защита от статического электричества.

В помещениях и местах работы с ЛВЖ устанавливают знаки безопасности по ГОСТ 12.4 026—76.

Требования к оборудованию для приготовления формовочных материалов и смесей регламентирует ГОСТ 12.2.046—80. Правила работы сушильного оборудования, работающего на газе, оговариваются «Правилами безопасности в газовом хозяйстве», утвержденными Госгортехнадзором СССР; электрических сушильных устройств— «Правилами устройства электроустановок», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных Госэнергонадзором СССР.

Окраску форм и стержней выполняют по ГОСТ 12.3.005—75.

При изготовлении отливок на комплексно-механизированных и автоматических линиях формовки-выбивки формовочные агрегаты оборудуют местными укрытиями и боковыми вентиляционными панелями; участок заливки металла в формы вдоль литейного конвейера оборудуют панелью равномерного всасывания воздуха, количество которого рассчитывают, приняв скорость воздуха в живом сечении панели равной 5 м/с (по ГОСТ 12.2.022—80); на участках охлаждения залитых форм предусматривают сплошные кожухи с торцовыми проемами и патрубками для отсоса газов, количество отсасываемого воздуха рассчитывается, приняв скорость воздуха в открытых проемах кожуха равной 4 м/с; участки выбивки отливок оборудуются вентилируемыми укрытиями, количество воздуха, удаляемого из укрытия, рассчитывают из условия, что скорость в открытых проемах не должна быть менее 1,5 м/с.

Требования безопасности при плавке цветных металлов и сплавов. При плавке цветных металлов наиболее частыми травмами являются ожоги, поражение электрическим током и ушибы. Основная причина ожогов — выбросы металла в процессе плавки и заливки металла в формы. Поэтому правилами техники безопасности предусмотрены сушка и подогрев: шихты при заливке и загрузке в жидкую ванну, флюсов, модификаторов, легирующих добавок, плавильного инструмента и форм.

Часто причиной выбросов металла являются выход из строя систем водяного охлаждения, уход металла из плавильных печей при самопроизвольном наклоне их и в результате разрушения тиглей или футеровки (ГОСТ 12.2.007.9—88 и ГОСТ 12.2.007.10—87).

Печи с системами водяного охлаждения должны быть оборудованы блокировочными устройствами, отключающими электропитание при падении давления воды или прекращении ее подачи во время плавки (ГОСТ 12.2.007.9—88 и ГОСТ 12.2.007.10—87).

При плавке титана и других тугоплавких металлов в вакуумно-заливочных установках имеется опасность выбросов металла при прогорании стенок водоохлаждаемых тиглей или нарушении их герметичности. Поэтому для наклоняющихся печей предусматривают ограничители наклона и блокировку для автоматического отключения механизма поворота.

Пульты управления плавильных печей устанавливают в таких местах, чтобы плавильщик мог видеть струю металла, идущую из печи, и крановщика. Щиты и пульты оборудуют световыми и звуковыми сигнализирую-

щими устройствами. Воронки для слива охлаждающей воды располагают в таких местах, чтобы струи воды плавильщик видел на рабочем месте.

При плавке магниевых сплавов следует соблюдать специальные меры безопасности от возгораний и взрывов. Магниевые сплавы в зависимости от химического состава загораются на воздухе при 400—500 °С; сухая пыль магния и его сплавов воспламеняется со взрывом при 400—480 °С, а влажная — при 360—380 °С. Хранить стружку и опилки следует небольшими порциями в специальных закрытых контейнерах. Мелкую пыль сжигают в специально отведенных местах.

При плавке сплавов в электропечах промышленной частоты и высокочастотных необходимо, чтобы все операции, связанные с прикосновением к тиглю или жидкому металлу, осуществлялись только при снятом напряжении с нагревателей. При обслуживании электроплавильных установок высокого напряжения (электронно-лучевых, зонной плавки и др.) необходимо соблюдать особые правила. Поражение электрическим током часто происходит при замыкании на корпус печи и случайном прикосновении, если отсутствует заземление (ГОСТ 12.1.031—81).

Электромагнитные поля, возникающие при плавке металлов в высокочастотных печах, являются профессиональной вредностью (влияют на нервную и сердечно-сосудистую системы, органы зрения и другие органы). Санитарными нормами СН 848—72 и ГОСТ 12.1.006—86 предусмотрена защита на частотах 0,1—30 МГц. Установки мощностью 30 кВт и более размещают в отдельных звукоизолированных помещениях, индукторы необходимо экранировать.

При плавке тяжелых цветных металлов нельзя применять средства рафинирования, содержащие нитраты и сульфаты и одновременно сильно восстановительные составляющие, например древесный уголь, в противном случае образуются газообразные оксиды азота и серы, реагирующие с водой с образованием азотной и серной кислот. Следует исключать флюсы, содержащие хлор и окись углерода, которые образуют при смешении токсичный газ фосфоген, ПДК которого 0,5 мг/м^3.

Нельзя применять одновременно при плавке медных сплавов для обработки средства, содержащие сильно окисляющие добавки и хлориды, так как при температурах 1100—1200 °С образуется свободный хлор. Удаление этих газов следует проводить, применяя вентиляцию и улавливание.

При выплавке и разливке сплавов, содержащих уран и торий, кроме общих правил безопасности, необходимо предусмотреть меры по защите работающих от радиоактивного излучения согласно требованиям НРБ-76/87 и ОСП-72/79.

Требования безопасности при литье по выплавляемым моделям и в гипсовые формы. При производстве отливок по выплавляемым моделям в литейных цехах должны быть выделены в изолированные помещения следующие производственные операции:

приготовление модельного состава и изготовление моделей;

приготовление наполнительных смесей, формовка и выбивка отливок;

выплавление моделей, прокалка форм, плавка и заливка металла;

очистка отливок, отделение отливок от литников.

Столы для приготовления модельного состава должны быть оборудованы вытяжными шкафами. Скорость движения воздуха в рабочем проеме — не менее 5 м/с. Загружать плавильные установки компонентами модельного состава следует не более чем на 0,75 объема ванны.

Стеллажи для сушки моделей с нанесенным слоем огнеупорного покрытия должны быть оборудованы вентилируемыми укрытиями, скорость воздуха в рабочем проеме укрытия должна быть не менее 0,5 м/с.

При изготовлении выплавляемых моделей на машинах и оборудовании места загрузки модельных составов и исходных материалов оборудуют вытяжным зонтом. Количество удаляемого воздуха определяют из условия, что скорость в рабочем проеме должна быть не менее 0,7 м/с.

Оборудование для расплавления модельного состава снабжают системой

терморегуляции, отключающей нагрев при достижении предельно-допустимой температуры, которая на 30—40 °С ниже температуры воспламенения. На установках для нанесения огнеупорного покрытия методом окунания предусматривают вентиляционную панель с щелевым отсосом; скорость воздуха должна быть не менее 1,0 м/с.

Камеры для воздушно-аммиачной сушки должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией; количество отсасываемого воздуха должно быть равным $(400 \div 500V)$ м³/ч (где V — объем камеры, м³).

Требования безопасности к конструкции машин литья под давлением должны соответствовать ГОСТ 15595—78.

Для вытяжки вредных паров и газов машину литья под давлением оборудуют вертикальной вентиляционной панелью со стороны, противоположной рабочему месту оператора; количество отсасываемого воздуха должно быть не менее 3600 м³/ч на 1 м² панели. Машины должны быть изолированы друг от друга щитами из листовой стали высотой не менее 2 м.

При изготовлении отливок литьем в кокиль, на установках литья под низким давлением, центробежным способом операции заливки металла (формы) и нанесения покрытий на рабочие поверхности должны быть механизированы. На позициях, предназначенных для выполнения этих операций, устанавливают вентиляционные панели; количество удаляемого воздуха должно быть не менее 2000 м³/ч на 1 м² панели.

Установки центробежного литья оборудуют защитными ограждениями, а литье под низким давлением — блокировками и предохранительными устройствами.

При литье в оболочковые формы следует учитывать ряд факторов, связанных со спецификой процесса.

Пылеобразование при приготовлении плакированной формовочной смеси на рабочих местах составляет 24—727 мг/м³, причем выделяемая пыль в основном высокодисперсна (до 92 % пылинок размером менее 4 мкм).

При заливке металла в керамические формы в результате выгорания связующего в рабочую зону выделяются пары фенола, окиси углерода, бензопирена, различные углеводороды, поэтому заливка и выбивка оболочковых форм на участках, не оборудованных местной вытяжной вентиляцией, не разрешаются.

В смесеприготовительном отделении необходимо удалять пыль и пары растворителей от смесителей. Количество воздуха, удаляемого от центробежного смесителя с вибрационным столом, должно быть не менее 4000 м³/ч.

В формовочно-стержневом отделении необходимо предусмотреть удаление газов от установок для изготовления оболочковых форм и стержней, а также прессов для склеивания форм. Количество удаляемого воздуха от двухпозиционных автоматов должно быть не менее 5000 м³/ч, а многопозиционных карусельных — не менее 20 000 м³/ч; от пресса для склеивания полуформ — не менее 3000 м³/ч.

При заливке на конвейерах или непосредственно на полу должен быть отсос по всей длине участка; интенсивность отсоса составляет 2000 м³/ч на 1 м длины.

При заливке форм на карусельной установке устанавливают большой зонт, перекрывающий всю площадь машины.

В выбивных отделениях количество воздуха, удаляемого при выбивке, должно быть не менее 5000—10 000 м³/ч на 1 м² площади стола. От отрубных столов необходимо удалять 2500 м³/ч воздуха на 1 м² полной площади стола.

Станки с наждачными или корундовыми кругами оборудуют кожухами-укрытиями с пылеотстойниками для сбора крупной пыли; объем отсасываемого воздуха должен быть не менее 1000 м³/ч от одного станка.

Литье в керамические формы требует особых мер безопасности, вызванных применением пожаро- и взрывоопасных материалов (табл. 3).

Требования безопасности при финишной обработке отливок. Работы по выбивке и транспортировке отливок и обработанной смеси должны быть механизированы или автоматизированы.

Участки выбивки оборудуют местной вытяжной вентиляцией, а выбив-

3. Пожаро- и взрывоопасные вещества, гасящие материалы

Вещество	Температура, °С		Взрывоопасное содержание в воздухе, % (объем. доля)	Материалы, применяемые при тушении пожара
	воспламенения	самовозгорания		
Спирт:				
этиловый	11	425	3,5—18	Химическая пена, аэрозоли и углекислота
метиловый	—1,0	475	6,0—36	
Этилсиликат	18	507	8,0—45	

ные решетки — накатными укрытиями, душирующими устройствами.

Отливки должны выбиваться остывшими, продолжительность остывания отливок указывается в технической документации. Транспортирование отливок к месту очистки и обратно, их загрузка и выгрузка из очистных камер и установок должны быть механизированы. Обрубку отливок проводят при температуре не выше 45 °С. Места обрубки и очистки отливок оборудуют постоянными или переносными ограждениями для защиты работающих от отлетающих осколков.

Участки очистки отливок ручным механизированным инструментом с абразивными кругами должны быть оборудованы местной вытяжной вентиляцией с устройством боковых пылеприемников, решеток в полу или верстаке.

Основными опасными участками при литье в керамические формы являются: места хранения основных материалов и расположения установок для гидролиза и приготовления керамических суспензий, формовочный участок в литейном цехе и участки выбивки и очистки отливок, взвешивания материалов. Безопасная концентрация (пыли или газа) достигается при вытяжке 7000 м³/ч воздуха на 1 м² открытой поверхности вытяжного зонта. Бункера для пылевидных материалов снабжают крышками, разгрузка должна быть без пылеобразования. В очистном отделении вентиляция обеспечивает воздухообмен не менее 14 000 м³/ч.

Литейное производство цветных сплавов оказывает воздействие и на окружающую среду, поэтому при проектировании новых и реконструкции действующих литейных цехов в проектах необходимо предусматривать процессы и оборудование, позволяющие исключить или максимально снизить выделение пыли и газов и осуществить их очистку и обезвреживание, создание и внедрение безотходных и малоотходных технологий и замкнутых водоснабжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов Г. Г.** Справочник молодого литейщика. М.: Высшая школа, 1983. 207 с.

2. **Алюминиевые сплавы.** Плавка и литье алюминиевых сплавов: Справочник/Под общ. ред. В. И. Добаткина. М.: Металлургия, 1983. 352 с.

3. **Алюминиевые** сплавы (свойства, обработка, применение): Справочник/Пер. с нем. М.: Металлургия, 1979. 680 с.

4. **Аристова А. А., Колобнев И. Ф.** Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1977. 144 с.

5. **Балакин И. Я., Зинин Ю. Н.** Технология очистки отливок. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. 184 с.

6. **Батышев А. И., Любавин А. С.** О потерях на трение при литье с кристаллизацией под давлением//Литейное производство. 1986. № 1. С. 24.

7. **Беккер М. Б.** Литье под давлением. М.: Высшая школа, 1973. 230 с.

8. **Белопухов А. К.** Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1985. 268 с.

9. **Бобылев А. В.** Механические и технологические свойства металлов: Справочник. М.: Металлургия, 1980. 296 с.

10. **Боровский Ю. Ф., Шацких М. И.** Формовочные и стержневые смеси. Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1980. 86 с.

11. **Вдович Б. Н., Сосненко М. Н.** Заливка литейных форм. М.: Высшая школа, 1974. 144 с.

12. **Вереш А.** Очистка отливок: Пер. с венгерского//Под ред. Г. Ф. Баландина. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.

13. **Власов А. Ф., Васильев П. В.** Справочник конструктора модельной оснастки. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. 256 с.

14. **Влияние** местного сопротивления на входе в металлопровод при литье вакуумным всасыванием и под низким давлением/Б. С. Чуркин, Г. П. Шумихин, Э. Б. Гофман, В. В. Никитин//Литейное производство. 1980. № 3. С. 22—23.

15. **Воздвиженский В. М., Грачев В. А., Спасский В. В.** Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. М.: Машиностроение, 1984. 432 с.

16. **Вредные** вещества в промышленности: Т. I и Т. II/Под общ. ред. Н. В. Лазарева. М.: Химия, 1971. Т. I. 832 с.; Т. II. 624 с.

17. **Выбор** зазоров в подвижных частях кокилей при литье алюминиевых сплавов/С. Т. Лучко, Ф. Г. Ляшко, Л. М. Солонский и др //Литейное производство. 1973. № 1. С. 30—31.

18. **Галдин Н. М.** Литниковые системы для отливок из легких сплавов. М.: Машиностроение, 1978 198 с.

19. **Галдин Н. М.** Отливки в точном машиностроении. М.: Машиностроение, 1983. 176 с.

20. **Горенко В. Г., Яновер Я. Д.** Теплоизоляционные материалы в литейном производстве. Киев: Техніка, 1981. 96 с.

21. **Горюнов И. И.** Пресс-формы для литья под давлением. М.: Машиностроение, 1973. 255 с.

22. **Гуляев Б. Б.** Теория литейных процессов. Л.: Машиностроение, 1976. 213 с.

23. **Дан П., Рей Д.** Тепловые трубы. М.: Энергия, 1979. 271 с.

24. **Домашников Б. П., Максимов Ю. А.** Влияние толщины стенки на прочность отливок из алюминиевых сплавов//Литейное производство. 1976.

№ 8. С. 20.

25. **Дружинин Б. И., Нефедов Ю. В.** Направленное затвердевание отливок из алюминиевых сплавов при литье по выплавляемым моделям//Литейное производство. 1980. № 7. С. 19—20.

26. **Жуковский С. С., Лясс А. М.** Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей. М.: Машиностроение, 1978. 224 с.

27. **Иванов В. Н., Зарецкая Г. М.** Литье в керамические формы по постоянным моделям. М.: Машиностроение, 1975. 136 с.

28. **Иванюта Г. И., Соловьев Ю. Г., Перевязко А. И.** Выбор технологических параметров при центробежном литье труб из титановых сплавов//Литейное производство. 1977. № 12. С. 19.

29. **Исследование** энергетических параметров плазменно-индукционной печи/В. И. Шахрай, Ю. В. Латош, И. В. Шейко и др.//Проблемы специальной электрометаллургии. № 4. 1987. С. 75—80.

30. **Кечин В. А., Люблинский Е. Я.** Цинковые сплавы. М.: Металлургия, 1986. 247 с.

31. **Кинетика** затвердевания сплава АЛ9 при литье вакуумным всасыванием/Б. С. Чуркин, А. П. Кузьмин, П. К. Матюшенко и др.//Литейное производство. 1977. № 6. С. 24—26.

32. **Коврижных Н. И., Гусаров В. Д., Пивоваров В. К.** Особенности литья погружением и возможности его применения//Литейное производство. 1986. № 11. С. 16—17.

33. **Колобнев И. Ф., Крымов В. В., Мельников А. В.** Цветное литье из легких сплавов. Справочник литейщика. М.: Машиностроение, 1974. 416 с.

34. **Конструкционные** материалы: Энциклопедия современной техники/Под общ. ред. А. А. Туманова. М.: Советская энциклопедия. Т. 1. 1964. 408 с. Т. 3. 1965. 527 с.

35. **Косняну К., Виде М.** Литье в керамические формы: Пер. с румынского Д. Д. Тимонича/Под ред. В. Н. Иванова. М.: Машиностроение, 1980. 200 с.

36. **Криогенный** метод снятия облоя с использованием роботов/М. А. Мешков, В. И. Рускол, В. Н. Комаров//Литейное производство. 1983. № 2. С. 28.

37. **Крымов В. В.** Техника безопасности и производственная санитария при работе с магниевыми сплавами. М.: Машиностроение, 1980. 197 с.

38. **Кузнецов Б. А., Нейштадт В. Я., Майоров В. П.** Освоение технологии литья под низким давлением на КамАЗе//Литейное производство. 1980. № 5. С. 21.

39. **Курдюмов А. В., Пикунов М. В., Чурсин В. М.** Литейное производство цветных и редких металлов. М.: Металлургия, 1986. 352 с.

40. **Лакеев А. С., Марченко В. Е.** Изготовление разупрочняемых оболочек для литья по выплавляемым моделям сплавов алюминия//Перспективы развития производства литья по выплавляемым моделям. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского. 1975. С. 118—123.

41. **Лакеев А. С., Щегловитов Л. А., Кузьмин Ю. Д.** Прогрессивные способы изготовления точных отливок. Киев: Техніка, 1984. 160 с.

42. **Лигатуры** для производства алюминиевых и магниевых сплавов/В. И. Напалков, Б. И. Бондарев, В. Ц. Тарарышкин, М. В. Чухров. М.: Металлургия, 1983. 160 с.

43. **Липницкий А. М., Морозов И. В. Яценко А. А.** Технология цветного литья. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. 224 с.

44. **Липчин Т. Н.** Эффективность упрочнения сплавов при кристаллизации под давлением//Литейное производство. 1985. № 3. С. 21.

45. **Литейные** дефекты и способы их устранения/А. В. Лакедомонский, Ф. С. Кваша, Я. И. Медведев и др. М.: Машиностроение, 1972. 152 с.

46. **Литье** в кокиль/С. Л. Бураков, А. И. Вейник, Н. П. Дубинин и др. М.: Машиностроение, 1980. 416 с.

47. **Литье** по выплавляемым моделям/В. Н. Иванов, С. А. Казеннов, Б. С. Курчман и др./Под общ. ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова. М.: Машиностроение, 1984. 408 с.

48. **Литье** под давлением/А. К. Белопухов, М. Б. Беккер, М. Л. Заславский и др. М.: Машиностроение, 1975. 400 с.

49. **Литье** под давлением: Пробле-

мы подпрессовки/А. К. Белопухов, Е. М. Родионов, М. Л. Заславский и др. М.: Машиностроение, 1971. 168 с.

50. **Литье** тонкостенных конструкций/Ю. А. Степанов, Э. Ч. Гини, Е. А. Соколов, Ю. П. Матвейко. М: Машиностроение, 1966. 255 с.

51. **Магниевые** сплавы: Справочник. В 2 ч. Ч. I. Металловедение магния и его сплавов: Области применения/ Альтман М. Б., Антипова А. П., Блохина В. А. и др. М.: Металлургия, 1978. 232 с.

52. **Машков А. А.** К проблеме кокиля. Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, Омск. отд-ние, 1975. 106 с.

53. **Металлургия** висмута/Под общ. ред. И. Т. Гульдина. Алма-Ата: Наука, 1973. 186 с.

54. **Направленная** кристаллизация жаропрочных сплавов/С. Т. Кишкин, Г. Б. Строганов, А. В. Логунов и др.// Литейное производство. 1984. № 4. С. 17—19.

55. **Неразрушающий** контроль металлов и изделий: Справочник/Под ред. Г. С. Самойловича. М.: Машиностроение, 1976. 456 с.

56. **Озеров В. А., Шуляк В. С., Плотников Г. А.** Литье по моделям из пенополистирола. М.: Машиностроение, 1980. 181 с.

57. **Орлов Н. Д., Чурсин В. М.** Фасонное литье из сплавов тяжелых цветных металлов: Справочник литейщика. М.: Машиностроение, 1971. 256 с.

58. **Основы** научных исследований в литейном производстве/Под общ. ред. А. Е. Кривошеева. Киев—Донецк: Вища школа, Главное изд-во, 1979. 168 с.

59. **Папиров И. И.** Бериллий в сплавах: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с.

60. **Плавка** и литье алюминиевых сплавов: Справочник/М. Б. Альтман, А. Д. Андреев, Г. А. Балахонцев и др. М.: Металлургия, 1983. 352 с.

61. **Плавка** и литье алюминиевых сплавов: Справочник/Под ред. В. И. Добаткина. М.: Металлургия, 1970. 416 с.

62. **Получение** тонкостенных алюминиевых отливок в устройстве для направленной кристаллизации/ П. И. Вершинин, Ю. Н. Бакрин, В. И. Севастьянов, Н. М. Голубев//Литейное производство. 1978. № 11. С. 25—26.

63. **Поручиков Ю. П., Опачич П. А.** О возможности достижения автомодельного режима течения в литниковых каналах//Изв. вузов. Черная металлургия. 1970. № 11. С. 148—152.

64. **Постников Н. С., Мельников А. В.** Производство литых алюминиевых деталей. М.: Металлургия, 1979. 136 с.

65. **Приборы** для неразрушающего контроля материалов и изделий. В 2-х кн. Кн. 1/Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986. 488 с.

66. **Применение** плазменно-дуговой технологии при плавке слитков титана из отходов титанового производства/Ю. В. Латаш, В. С. Константинов, П. И. Галкин и др.//Проблемы специальной электрометаллургии. № 3 1985. С. 65—70.

67. **Рабинович Б. В.** Введение в литейную гидравлику. М.: Машиностроение, 1966. 423 с.

68. **Рейблин А. И.** Защитные лакокрасочные покрытия. Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1982. 320 с.

69. **Рыжков Н. Ф., Гини Э. Ч.** Литье методом вакуумного всасывания. М.: Машиностроение, 1982. 95 с.

70. **Расчет** параметров заполнения формы расплавом при литье выжиманием тонкостенных крупногабаритных отливок оболочкового типа/В. В. Рябов, С. И. Яцык, Ф. С. Абдулин и др.//Литейное производство. 1979. № 8. С. 20—22.

71. **Сафронов В. Я.** Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. 320 с.

72. **Сварика А. А.** Покрытия литейных форм. М.: Машиностроение, 1977. 216 с.

73. **Сварика А. А.** Формовочные материалы и смеси. Киев: Техника, 1983. 114 с.

74. **Серебро В. С., Марьянский А. В.** Прогрессивные технологические процессы изготовления оболочковых форм. М.: ВНИИТЭМР, 1986. 44 с.

75. **Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В.** Промышленные цветные металлы и сплавы. М.: Металлургия, 1974. 448 с.

76. **Смитлз К. Д.** Металлы: Спра-

вочник. М.: Металлургия, 1980. 445 с.

77. **Соколов Н. А.** Литье в оболочковые формы. М.: Машиностроение, 1978. 461 с.

78. **Сорокин Н. А.** Плавка алюминиевых сплавов в индукционных канальных печах. М.: Металлургия, 1984. 136 с.

79. **Справочник** по чугунному литью/Под общ. ред. Н. Г. Гиршовича. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. 758 с.

80. **Справочник** сварщика/Под ред. В. В. Степанова. М.: Машиностроение, 1982. 560 с.

81. **Степанов Ю. А., Баландин Г. Ф., Рыбкин В. А.** Технология литейного производства: Специальные виды литья. М.: Машиностроение, 1983. 288 с.

82. **Степанов В. М., Шевченко Н. Д.** Ленточно-пильный станок для отрезки литников и прибылей//Литейное производство. 1984. № 2. С. 35—36.

83. **Сурьма**/С. М. Мельников, А. А. Розловский, А. М. Щуклин и др.; Под общ. ред. С. М. Мельникова. М.: Металлургия, 1977. 535 с.

84. **Технологичность** конструкций изделий: Справочник/Т. К. Алферова, Ю. Д. Амиров, П. Н. Волков и др.; Под общ. ред. Ю. Д. Амирова. М.: Машиностроение, 1985. 368 с.

85. **Титановые** сплавы: Производство фасонных отливок из титановых сплавов/Е. Л. Бибиков, С. Г. Глазунов, А. А. Неустроев и др. М.: Металлургия, 1983. 296 с.

86. **Точное** литье цветных сплавов в гипсовые и керамические формы/О. Е. Кестнер, В. К. Бараданьянц, Л. А. Лапидовская, О. Б. Лотарева. М.: Машиностроение, 1968. 289 с.

87. **Тугоплавкие** металлы и сплавы/Е. М. Савицкий, Г. С. Бурханов, К. Б. Поварова и др. М.: Металлургия, 1986. 352 с.

88. **Тугоплавкие** металлы и сплавы/Г. С. Бурханов, Е. М. Савицкий, Е. В. Оттенберг и др.; Под общ. ред. Г. С. Бурханова. М.: Металлургия, 1986. 351 с.

89. **Уилкинс П. С.** Новая технология изготовления отливок из алюминиевых сплавов//Foundry Trade journal. 1981. 151. № 3223. С. 592—606.

90. **Шептунов К. Л.** Шихтовка формовочных смесей. М.: Машгиз, 1963. 148 с.

91. **Чугаев Р. Р.** Гидравлика. Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1982. 671 с.

92. **Чуркин Б. С., Гофман Э. Б.** Расчет литниковых систем при литье вакуумным всасыванием и под низким давлением//Литейное производство. 1985. № 10. С. 21—22.

93. **Чурсин В. М.** Плавка медных сплавов. М.: Металлургия, 1982. 152 с.

94. **Шиндин П. П., Розанова Н. Г.** Снятие заусенцев термоэнергетическим методом//Автомобильное производство. 1985. № 1. С. 3.

95. **Шипунов Г. Г., Ясницкая А. Я.** Исправление макродефектов отливок пропиткой полимерными композициями//Литейное производство. 1983. № 2. С. 33.

96. **Шляхин А. П., Кривонос Г. А.** Залечивание пор в отливках горячим изостатическим прессованием//Литейное производство. 1986. № 8. С. 9—11.

97. **Штамповка** жидкого металла/А. И. Батышев, Е. М. Базилевский, В. И. Бобров и др. М.: Машиностроение, 1979. 200 с.

98. **Электротермическое** оборудование: Справочник/Под общ. ред. А. П. Альтгаузена. М.: Энергия, 1980. 416 с.

99. **Юдин С. Б., Левин М. М., Розенфельд С. Е.** Центробежное литье. М.: Машиностроение, 1972. 279 с.

100. **Brunhuber E.** Wahe der Vorlaufgeschwindigkeit bei Kaltkammer Druckgießmaschinen Giesserei—Praxis. 1983. № 3. S 29—32.

101. Taschenbuch der Gisserei—Praxis, 1986. Fachverlag Schiele Schon GmbH, Berlin, 1986. 490 S.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Агрегат плавильный двухручьевой — см. *Печь дуговая плавленная*
Агрегаты воздушно-циркуляционные 459
Алюминий 129, 130 — Физико-механические свойства 129, 130
— первичный — Маркировка чушек 130, 131 — Химический состав 130
Аппараты дробеметные правого и левого вращения 437
— дробеструйные 436 — Производительность двухкамерных аппаратов 437
— рентгеновские — Технические характеристики 495
Арматура — Конструкция 33 — Материалы 32, 33 — Назначение 32 — Способы крепления 33
Армирование 32, 33, 42

Баббиты для литья под давлением 228 — Химический состав и свойства 232
— кальциевые — Химический состав и свойства 232
— оловянные и свинцовые 228 — Условия и область применения 229 — Физико-механические свойства 229 — Химический состав 228
Базы технологические — Допуск на базовый размер 37 — Назначение баз 37, 38
Барабан галтовочный периодического действия — Техническая характеристика 439
— очистной дробеметный периодического действия — Применение, техническая характеристика 437
Бериллий 143, 144
Брак при термической обработке 461, 462 — Методы борьбы с браком 461, 462, 464
Бронзы безоловянные 200, 201, 209 — Группы бронз 200 — Область применения 208, 209 — Свойства 206, 207 — Химический состав 206
— в чушках — Марки 209
Бронзы оловянные — Группы 198 — Легирование цинком 199 — Маркировка 199 — Механические свойства 202 — Область применения 203, 204 — Технологические свойства 202, 203 — Физические свойства 201 — Химический состав 198, 199
— в чушках 199, 200
Буртики — Размеры 34

Ванадий 148 — Влияние температуры на свойства ванадия 148
Вата минеральная 260
Вермикулит вспученный 260
Вещества поверхностно-активные 245
Вибромашины для формовки твердеющими опорными наполнителями 371
— очистные 445
Висмут 137—139 — Химический состав 140
Вкладыши кокилей из алюминиевых сплавов 263
Вольфрам 146, 148 — Механические свойства 148
— для производства проволоки — Химический состав 147
Воронки литниковые — Назначение 67
— большие — Размеры 68
— малые 67, 68 — Форма воронок
Втулки экзотермические круглые и овальные — Размеры 108
Выбивка 430—433 — Продолжительность выдержки отливок в форме 430 — Удаление остатков керамических форм 430, 432
— оболочковых форм 430
— стержней на масляных, водорастворимых, термореактивных и жидкостекольных связующих 432
Выпор 43
Выступы — Толщина стенки 34
— различной формы с отверстиями 35

Газосодержание отливок — Методы оценки 504
Газостат QUNTLIS — Схема и применение 487
Гелиообразователи 390
Герметизация отливок — см. *Пропитка отливок*
Герметики анаэробные 489—491

Гидравлика литниковых систем 46
Гидрорегенерация отработанной смеси 274, 275
Гинье — Престона зоны 450
Глины формовочные 233 — Классификация глин: по минеральному составу 238; по пластичности 239; по пределу прочности при сжатии 238 — Свойства формовочных глин и методы их определения 239—242
Гравий керамзитовый и кремнезитовый 260

Давление парциальное паров металла 300, 301
Детали литые — Общие требования: к конструкции 22; к технологичности при проектировании 20—22 — Показатели технологичности 21
Дефектоскоп ультразвуковой импульсный — Схема 496
— электроиндуктивный, работающий по методу вихревых токов по стрелочному индикатору 497

Дефектоскопы ультразвуковые универсальные 496 — Технические характеристики 498
Дефектоскопия ультразвуковая 496, 497 — Частота прозвучивания и глубина проникновения волн 497
Дефекты отливок 470, 483 — Группы дефектов 483 — Исправление 483—491 → см. также *Заварка отливок, Замазки эпоксидные, Прессование изотермическое горячее, Пропитка отливок*
Дефекты отливок в виде неметаллических включений 479, 480
← возникшие вследствие химического и механического взаимодействий с газами и влагой 471—474
← вызванные плохим качеством сплава 350, 352
← при литье: вакуумным всасыванием 410; в гипсовые формы 400; в керамические формы по постоянным моделям 395, 396; в оболочковые формы 385, 389; выжиманием и погружением 414; по выплавляемым моделям 375, 376; под давлением 352; под низким давлением 410; с кристаллизацией под давлением 427, 428; с противодавлением 410; центробежном 427, 428
← специфические 351, 352
← усадочного происхождения 475—478
← являющиеся несоответствием состава, свойств, структуры и размеров отливок требованиям стандартов 481—483
Динамика потоков на отдельных этапах заполнения формы 46 — Движение расплава: в коллекторе и питателях 49, 50; в литниковой чаше 46, 47; в полости формы 51, 52; в стояке 47; на участке перехода от стояка к коллектору 48, 49; по дну чаши 47; при подаче струи на наклонную стенку 47 — Сечения и профили стояков 48 — Сила удара струи 47
Дин-процесс 394
Добавки противопригарные 257, 258
— улучшающие свойства оболочковых форм 361 — Введение, примерное количество и назначение 365, 366
Дозаторы жидкого металла 349
Дозирование жидкого металла 349
Документация технологическая — Требования к оформлению 114, 115 — Чертежи элементов литейной формы 115
Документы технологические — Комплектность 121
Допуски размеров 37, 39 — **Взаимосвязь** между размерами **отливки, допусками** и припусками на **обработку** резанием 9
← линейных без учета их смещения и коробления 9, 10
← угловых (в пересчете на линейные) 9
— элементов отливки 9
Дроссель — Назначение 61 ← Схема расположения 49

Жгуты прокладочные 258
Жеребейки — Назначение и материал 267
ЖСС-процесс 245

Заварка отливок — Подготовка дефектного участка 484 — Схема разделки дефекта 484
← аргоно-дуговая — Схема 485
← из сплавов: алюминиевых и магниевых 484, 485; медных 485, 486; никелевых 486; титановых 485, 486
Зазоры между знаками формы и стержня 120
Заливка сплавов алюминиевых — Температура заливаемых сплавов 319
← алюминиевых в формы: гипсовые 319; изготовленные по выплавляемым моделям 319, 320; в кокиль 334
← магниевых 320
← магниевых при литье в кокиль 334
← медных 321 — Температура заливки форм: изготовленных по выплавляемым моделям 322; песчаных 321
← никелевых 322
← тугоплавких 320, 321
← цинковых и легкоплавких 320, 321
Заливка форм — Общие положения 315
← в автоклаве 318, 319
← наклонных — Схема заливки 318
← на конвейере 317 — Схема заливки 318
← на плащу 317
← поворотных 318 ← Схема получения отливок 319
Замазки стержневые ← Назначение 258 ← Составы 259
← эпоксидные 491
Заполнение литейной формы — Гидродинамические особенности для отливок различных групп 57, 58 — Расчет минимально допустимой скорости течения металла 58, 59 — Скорость подъема металла в форме в зависимости от толщины стенки отливки 59
Заполняемость форм 76 — Условия хорошей заполняемости 57
Заусенцы. Удаление криогенным методом 447
← с отливок, получаемых точными способами литья 441
← термоэнергетическим методом 446, 447
Зачистка отливок — Используемые инструменты и оборудование 439—441
← вибрационная 441, 444
← виброгидроабразивная 444
← ультразвуковая 444
Знаки стержней горизонтальных — Длина 119
← нижних вертикальных — Размеры 119
← песчаных — Размеры 117
Зубья литые 31, 32
Зумпф для нижней литниковой системы с несколькими стояками — Конструкция 79

Изделия перлитокерамические 260
Изложницы со смежными вкладышами для литья втулок 421
Инструмент, применяемый на очистных операциях 431, 432

Кадмий 144 — Химический состав 144
Камера гидропескоструйная с ручным управлением 438, 439
← дробеструйная с ручным управлением 438, 439
← очистная дробеметная периодического действия — Техническая характеристика 437, 438
← прессования — Минимально допустимый диаметр 344
Канавки литые 36, 37
Каркасы — Назначение и типы 265
← литые, сварные, трубчатые — Материал 267
← проволочные 265, 267
Карты технологического процесса 118, 121
Карусели кокильные ← Параметры 335

Катализаторы 246, 247
Керамикатс-процесс 394
Клеи для склеивания оболочковых полуформ 387
— стержневые отверждаемые тепловой сушкой, самотвердеющие, сульфитные 258
Кобальт 141—143 — Химический состав 142
— литой — Механические свойства 143
Ковши для заливки металла — Вместимость, кожухи, футеровка 317
— барабанные 315 — Футеровка 317
— крановые 315, 316
— крановые конические 315
— монорельсовые 315, 316
— открытые 317
— ручные 315, 316
— чайниковые для заливки магниевых сплавов 320
Кокили — Зазоры между частями кокиля 330—332 — Классификация 328, 329 — Материалы: деталей 261, 263; рабочих стенок 261—263 — Стойкость 264 — Толщина стенки: расчетная 327, 328; рекомендуемая 328
— вытряхные 330
— из алюминиевых сплавов 363
— охлаждаемые 328, 330
— с вертикальной плоскостью разъема 330
— с горизонтальной плоскостью разъема 328
Коллектор — Высота потока металла 59, 60 — Повышение эффективности работы 59, 60 — Повышение эффективности работы 59
Комплекс для центробежного электрошлакового литья 299 — Техническая характеристика 299, 300
Комплексы модельные — Классификация 264 — Материалы 264, 265 — Сравнительные характеристики материалов 266 — Срок эксплуатации до капитального ремонта 267
Контейнер для заливки титановых сплавов центробежным способом 321
Контроль герметичности отливок 498 — Обнаружение течи 499, 500 (галоидный метод 500) — Образцы и пробы для испытаний на герметичность 498, 499
Контроль качества отливок — Оценка твердых включений 504, 505 — Цели и методы контроля 491 — См. также *Газосодержание отливок, Пористость отливок, Шероховатость поверхности отливок*
— неразрушающими методами 491, 493 — Чувствительность методов и область их применения 494
— неразрушающими методами внутренних и наружных дефектов 493—498
Контроль качества слитков и фасонных отливок 497
Конусность на отливках 36, 37
Краски кокильные — Наполнители 272
— используемые при литье алюминиевых и магниевых сплавов 272
Краски противопригарные — Выбор растворителя 268, 269 — Седиментационная устойчивость 268, 269 — Стабилизация 269
— быстросохнущие 268 — Выбор связующего 269
Краски противопригарные водные для покрытия литейных форм 268 — Оптимальная вязкость 269 — Смачивающая способность 269 — Тиксотропные свойства 268, 269
— самовысыхающие 271
— самотвердеющие 269 — Составы и плотность 269, 271
с неорганическим связующим 269 —
— Состав и плотность 270
с органическим связующим 269 — Компоненты красок 270
Краски, снижающие шероховатость поверхности отливок из алюминиевых сплавов 272, 273
— из магниевых сплавов 272, 273
Кремний 136 — Химический состав кристаллического кремния 136
Коэффициент гравитационный 421
— затвердевания сплава 412
— формообразования 424, 425
Коэффициент расхода — Зависимость от гидравлического радиуса стояков системы Л—I 54; от длины коллекторов и от отношения площадей поперечных сечений коллектора и стояка 55; от напора 54; от температуры заливаемого расплава 55 — Конструкции литниковых систем для определения значений коэффициента 52, 53 — Определение 52—55
— для мелких отливок при заливке в кокиль 85
— литниковых чаш 55
— приведенный 55

Латуни — Комплексное легирование 205 — Механические свойства 210, 212 — Недостатки 210, 211 — Область применения 211, 212 — Технологические свойства 210, 213 — Физические свойства 210, 213 — Химический состав 205, 209
Латуни литейные в чушках 209 — Маркировка 209 — Химический состав 210
— двойные 204
— двухфазные 205
— однофазные 204
— специальные 204
Лигатуры — Приготовление 309—311; температурные режимы 310, 311 — Требования к лигатурам 153, 156
— для приготовления магниевых сплавов 153
— для тугоплавких сплавов — Химический состав и температура плавления 155
— медно-бериллиевые — Химический состав 154
— медь — фосфор — Химический состав 154
— на основе алюминия 153
— на основе меди и других цветных металлов 155
Литий — Химический состав и механические свойства 143
Литье вакуумным всасыванием 407 — Время затвердевания отливки 409 — Глубина погружения кристаллизатора 409 — Оборудование 409, 410 — Расчет вентиляционных каналов 408, 409 — Скорость вакуумирования форм 408 — Схема литья 408
Литье в гипсовые формы — Оборудование 398 — Общие положения 393, 394, 396 — Оснастка для изготовления форм и стержней 397, 398 — Особенности заливки форм 396, 399 — Температура заливки форм 396 — См. также *Дефекты отливок, получаемых литьем в гипсовые формы, Модели для изготовления гипсовых форм, Смеси для изготовле-*

ния гипсовых форм, Формы гипсовые
Литье в керамические формы, изготовленные по постоянным моделям — Заливка форм 393 — Оборудование 393 — Общие положения 389, 390 — Особенности изготовления форм 390 — См. также *Дефекты отливок при литье в керамические формы, Оборудование для изготовления керамических форм, Смеси для изготовления керамических форм*
Литье в кокиль — Классификация кокилей 328, 329 — Кокильные покрытия 332, 333 — Конструкция литейной формы 328—332 — Номенклатура получаемых отливок 327 — Особенности технологии литья цветных сплавов 334 — Преимущества и недостатки 327 — Специальные технологические приемы 335
Литье в оболочковые формы — Общие положения 374—377 — Стержни (классы сложности) 377, 381—383 — Схема технологического процесса 377 — См. также *Смеси песчаносмоляные*
Литье выжиманием 410, 412, 413 — Допустимая скорость подъема металла в форме 412 — Изготовляемые отливки 410, 411 — Основные технологические параметры 411, 412 — Способ Ю. А. Караника 413, 415 — Схема литья 411 — См. также *Дефекты отливок при литье выжиманием*
— при плоскопараллельном сближении полуформ 411 — Скорость сближения полуформ 412
— при повороте полуформ вокруг неподвижной оси 411 — Скорость поворота подвижной полуформы 412
Литье по выплавляемым моделям 352, 353 — Заливка форм 374 — Литниково-питающие системы 371—374 — Технологические особенности 374
Литье погружением 415 — См. также *Дефекты отливок при литье погружением*
Литье под давлением — Общая характеристика способа 336, 337 — Особенности технологии 337—339 — Рекомендуемые давления подпрессовки для различных групп отливок 340 — Силовые режимы прессования 344, 345 — Температурные режимы 342—344
Литье под низким давлением — Вентиляция форм 403 — Выбор места и способа подвода металла к отливке 403 — Выбор режимов литья 404 — Гидродинамические режимы заливки формы 401—403 — Давление газа при затвердевании отливки 403 — Оборудование 404—406 — Особенности литья различных сплавов 404 — Параметры технологического процесса 401 — Схема литья 401 — См. также *Дефекты отливок при литье под низким давлением, Металлопровод при литье под низким давлением*
Литье с кристаллизацией под давлением 423—428 — Влияние давления прессования на прочность сплава 426 — Изготовляемые отливки 423, 424 — Основные технологические параметры 425, 426 Состав и качество покрытий пресс-форм 426, 428 — Схемы прессования 424 — См. также *Дефекты отливок при литье с кристаллизацией под давлением*
Литье с направленной кристаллизацией — См. также *Дефекты отливок при литье с направленной кристаллизацией*
— **при нагреве формы и регулируемом** перемещении кристаллизатора 417, 418
— при направленном теплоотводе 418, 419
— при непрерывном подводе к фронту затвердевания новых порций металла 415—417 — Скорость опускания формы 415, 416
Литье с противодавлением 405, 406 — Исходное рабочее давление газа 407 — Схема литья 407 — Температурные режимы литья 407 — См. также *Дефекты отливок при литье с противодавлением*
Литье центробежное 419 — Выбор расположения оси вращения изложницы 420, 421 — Используемые формы 419, 420 — Область применения 422, 423 — Преимущества 420 — Скорость вращения 421, 422 — См. также *Дефекты отливок при центробежном литье*
Лом и отходы цветных металлов 153 — Классификация 156

Магний 131 — Физико-механические свойства 131 — Химический состав 132
Манипуляторы для выполнения транспортных операций и загрузочно-разгрузочных работ 430
— для смазывания пресс-форм 349, 352 — Технические характеристики 350
— для удаления отливок 352
Марганец 135 — Химический состав 134
Масса отливки номинальная 11
Мастики безводные 258
Материалы высокоогнеупорные и высшей огнеупорности — Характеристики 252—254
— графитовые 249 — Характеристики 250
— для пропитки отливок 489
— для пропитки отливок анаэробные 489—491
— огнеупорные 249
— связующие — Группы 249, 255 — Классы 249, 255 — Марки 256 — Обозначения 255
— связующие для керамических форм 390
— смазочные 345 — Составы 346
— теплоизоляционные: волокнистые 260; зернистые и ячеистые 259; сложные 260, 261; со смешанной структурой 260, 261; строительные (классификация) 258, 259
— формовочные 233
— формовочные для получения оболочек 259, 361—369 — Используемые: связующие 361; исходные связующие 364 — Количество воды 361 — Основа формы (порошка) 361 — Свойства 363 — См. также Добавки, Растворители органические
— шихтовые — Характеристики 163
Машина двухпозиционная для изготовления оболочковых полуформ 386
— литья под давлением 360 фирмы 349
Машины для изготовления оболочковых стержней 386, 387
— для литья под давлением 345 — Вспомогательное оборудование 345, 346 — Раздаточные печи 346
— для литья под давлением с горизонтальной холодной камерой прессования 345, 347
— для литья под низким давлением — Технические характеристики 406
— дробеочистные 436
— кокильные: однопозиционные 334; поворотные 335; с поворачивающимся или наклонным кокилем 335

— литейно-выжимные — Технические характеристики 413
— литья с противодавлением — Технические характеристики 408
— очистные 436
— шлифовальные с гибким валом электрические ручные — Технические характеристики 442
— шлифовальные электрические ручные 441
Медь 131, 132, 135 — Химический состав 133
Металл жидкий — Максимально допустимый расход 76 — Распределение скоростей в круглом канале 56 — Режим движения в каналах литейной формы 55—57 — Структура потока при переходе ламинарного режима в турбулентный 56 — См. также *Турбулентность потока допустимая*
Металлоприемник для нижней литниковой системы с несколькими стояками — Конструкция 79
Металлопровод для литья под низким давлением 403, 405 — Конструкция 403, 404
Металлы легирующие — Свойства 152
— легкоплавкие чистые — Свойства 151
— редкоземельные 150, 153 — Физические свойства 150
— тугоплавкие 144—149
— тугоплавкие чистые 152
Микроинтерферометры для контроля шероховатости поверхности отливок 502
Миксеры вакуумные 285
— индукционные канальные 285
— раздаточные для электромагнитной дозировки цветных сплавов 288, 289
Модели выплавляемые — Выплавление 369, 371 — Изготовление в пресс-формах 357, 360 — Сборка в блоки 357, 359 — Способы удаления 370
— для изготовления гипсовых форм: восковые 397, 399; деревянные 397, 398; постоянные 397
Моделирование движения неметаллических включений в литниковых системах 125—127 — Материалы для имитации движения 126
— динамики потока в литниковых каналах и рабочей полости формы 127
— литейных процессов — Изготовление моделей 127, 128
— литниковых систем 122—124 — Масштабы моделей 124 — Определение коэффициента расхода 124, 125
Модификаторы — Назначение 156
— для сплавов: алюминиевых 160; магниевых 161; медных 162
Модифицирование расплавов 156, 302
Молотки рубильные пневматические виброзащищенные 440

Надписи на отливках 32
Наполнители для холоднотвердеющих смесей — Состав и свойства 251
— опорные сыпучие 371 — Содержание компонентов, назначение 370, 371
— опорные твердеющие 371 — Содержание компонентов 371
— при вибрационной очистке 442, 444
Напуски технологические 28, 88
Никель 135, 136 — Химический состав 135
— кристаллический — Химический состав 136
Ниобий 145 — Химический состав ниобиевых штабиков 146
— в слитках — Химический состав 147
Нихрома 213, 214 — Достоинства и область применения 213
— двойной 214

Облицовки из песчано-глинистой смеси 271
— из сыпучих песчано-смоляных смесей 271, 272
Оболочки экзотермические 105, 106 — Размеры 107, 108 — Схемы установки на прибылях 106
Оборудование, применяемое на очистных операциях 431, 432
Обработка термоциклическая отливок 450
Обработка термическая отливок высокоточных из алюминиевых сплавов — Стабилизирующие режимы 458
— из алюминиевых сплавов 447, 448 — Закалка 448, 449 — Закалка с последующим искусственным старением 448, 449 — Закалка с последующим стабилизирующим старением 450 — Искусственное старение 447 — Оборудование 459 — Отжиг 447, 448 — Режимы 451—456
— из магниевых сплавов — Виды обработки 460, 461 — Оборудование 461, 463 — Область применения 460 — Режимы 461—463 — Характерные особенности 459, 460
— из тяжелых цветных сплавов 461
Образцы для механических испытаний 492, 493
Обрезка 433—435 — Применяемое оборудование 433, 535, 435
— прибылей, литников и выпоров на отливках из тяжелых цветных сплавов 435
— прибылей на крупных отливках 435
— прибылей на отливках массой более 100 кг при их массовом производстве 435
Обрубка отливок 439, 440
Окантовки — Назначение 33
— односторонние и двухсторонние при литье в песчаные формы 33 — Размеры 34
Оксидирование химическое отливок из алюминиевых, магниевых, медных и цинковых сплавов — Составы растворов 466, 467
Олово 136, 137 — Химический состав 138
Операции финишные 429 — Классификация 430—432
Опоки литейные — Требования к опокам и их материал 265
— для изготовления гипсовых форм по восковым моделям 398
Оснастка технологическая — Назначение 263, 264 — См. также *Комплекты модельные, Опоки литейные, Плиты модельные, Плиты сушильные, Скобы центрирующие, Штыри центрирующие*
Отклонения предельные коробления элементов отливок 11, 12 — Степень коробления 11
— массы отливок 11
— массы отливок верхние 13
Отливки — Группы отливок по их высоте 71, 72, по технологии изготовления 72; по сложности 7, 8 — Категория ответственности 7 — Классификация по сложности конфигурации и способу заливки 73, 74 — Конструирование элементов (см. *Зубья литые, Полости, Радиусы*

закругления, Ребра жесткости, Резьбы литые, Сопряжения) — Назначение технических требований 7 — Определение параметров 75 — Разгрузка углов скопления металла 27—29 — Специальные требования 20 — Схемы расположения в форме 72 — Толщина стенок 22—24
Очистка поверхности отливок — Виды обработки 435 — Галтовка 439 — Используемое оборудование 435, 436 — Очистные машины 436
— гидроабразивная алюминиевых и медных отливок 435, 438
— дробеструйная и дробеметная — Используемое оборудование 435—437
— химическая и электрохимическая 444, 446, 447

Пасты натирочные — Состав при литье медных, алюминиевых и магниевых сплавов 271
Пемза шлаковая 260
Пенообразователи — См. *Вещества поверхностно-активные*
Перемычки 33, 34 — Минимальная толщина 34
Переплавка отходов сплавов алюминиевых и магниевых 312, 313
— никелевых, медных и медно-никелевых 313, 314
— тугоплавких 313
— цинковых и легкоплавких 314
Перлит вспученный 259, 261 — Марки 260 — Термическая обработка 260
Пески формовочные 233 — Зернистость 234 — Классификация 234 — Методы определения свойств 235—238 — Наименования песков и их марки 234 — Свойства 235—238 — Состав 234
— необогащенные 234
— обогащенные 233
Песок аглопиритовый 259
кремнезитовый 260
— шунгезитовый 260
Печи аэродинамического подогрева — См. *Установки рециркуляционные типа ПАП*
— дуговые — Технические характеристики 293
— дуговые прямого, смешанного, плазменного и оптического нагрева 293; однофазные 293, 294
— индукционные — Преимущества 285
Печи плавильные — Классификация 278—280
— дуговые вакуумные — Тигель печи 294
— дуговые вакуумные: горнисажные 294, 295; с *охлаждаемым кристаллизатором* 294
— индукционные вакуумные — Вместимость 290 — Технические характеристики 293 — Типы 290 — Футеровка тиглей 292, 293
— индукционные вакуумные 290: поворотные 290, 291 полунепрерывного действия 291, 292 прямого нагрева и периодического действия 290; с холодным тиглем 291
— индукционные канальные — Область применения 286 — Технические характеристики 286, 287
— индукционные канальные с замкнутым магнитопроводом 285 — Технические характеристики 28
— индукционные тигельные — Конструктивные особенности 286, 287 — Принцип работы 286 — Стойкость тигля 288 — Технические характеристики 287, 288 — Футеровка тиглей 287
— *индукционные тигельные без замкнутого магнитопровода* 285, 286
— электронно-лучевые 295—297 — Исходная шихта 295 — Преимущества 295 — Технические характеристики 296
— электронно-лучевые с плосколучевыми пушками 298
— электрические 278, 279, 281 индукционные 279; сопротивления 279; специальной конструкции 280
— электрошлаковые 297—300
Печи пламенные отражательные 282
— тигельные — Материал тигля 280—282 — Обмазки тиглей 282 — Преимущества и недостатки печей 281 — Топливо 281
Печи раздаточные — Рекомендуемая вместимость 346
Печи сопротивления камерные 282, 284, 285 — Технические характеристики 284
— плавильно-раздаточные — Технические характеристики 283
— тигельные 282
— тигельные для плавки и раздачи алюминиевых сплавов — Технические характеристики 283
Печи шахтные: камерные методические 463; с принудительной циркуляцией 459
Печь дуговая плазменная — Техническая характеристика 295
Пила дисковая 435
Пилы ленточные 434
Питатели — Всасывающий эффект 60, 61 — Неравномерность действия 61, 62
— нижних литниковых систем — Расчет 78, 79
Плавка — Классификация 278 — Моно- и полипроцессы 27 — Определение 277 — Схема системного анализа плавки 277 — Температурные интервалы плавки цветных сплавов 278
— баббитов 308, 309
— вольфрама 306
— кадмия 309
— латуней 306
— молибдена 305
— монелей 307
— нихромов 307
— титана 304, 305 — Порядок загрузки шихты 304, 305
— хромелей 307
— цветных металлов и сплавов — Взаимодействие металлов и сплавов с материалом футеровки 301 — Группы металлов и сплавов по характеру взаимодействия с кислородом 300 — Давление паров металлов 300, 301
Плавка сплавов алюминиевых — Легирующие элементы 302 — Окисление сплавов 302 — Очистка тигля 303 — Порядок загрузки шихты 302, 303
— алюминиевых сложнолегированных с высоким содержанием магния 303
— антифрикционных на основе олова 308
— магниевых — Защита струи расплава от окисления 303, 304 — Порядок загрузки шихты 303 — Способы плавки 303
— магниевых с редкоземельными металлами, торием и кальцием 304
— медных 306
— на основе олова 308
— никелевых 306, 307 — Модифицирование 307 — Применяемые печи 306 —

Флюсы 306 — *Шихтовые материалы* 306, 307
— никелевых жаропрочных 307
— ниобиевых 305, 306
— типографских 309
— тугоплавких 304
— цинковых 308
Пластины из стержневых смесей для легкоотделяемых прибылей 110
Платики — Конструирование 34, 36
— на вертикальных стенках отливки 35
— на донышке отливки 35
Плиты модельные — Материалы 265
— сушильные литые и сварные — Материалы 265
Пневморегенерация песков и смесей 274
Поверхностно-активные вещества 361
Покрытия для литейных форм 267 — Выбор дисперсионной среды 268 — См. также *Краски противопригарные водные, Пасты натирочные*
— для литейных форм огнеупорные светлые 268
— защитные кокильные 271, 272
— из жидкостекольных смесей 257
— пресс-форм при литье с кристаллизатором под давлением — Составы 426
— противокоррозионные отливок — Системы покрытий 467—469 — Требования к качеству подготовки поверхности 464—466
— противокоррозионные отливок: из алюминиевых сплавов 464, 465; из магниевых сплавов 465, 466; лакокрасочные 465
— противопригарные для стержней 269
— разделительные: для горячей оснастки 257; для опрыскивания модельных плит 257; жидкие 257; используемые многократно 256; разовые 256, 257
— разовые 256
— электродные 486
Полости — Виды 28 — Выполнение полостей 283
— в отливках, получаемых литьем под давлением 30
— с малыми выходными отверстиями 30
Пористость отливок — Балл пористости 503, 504 — Оценка по макрошлифам 503 — Схема заливки технологической пробы 503
Порошок совелитовый 261
Прессование изостатическое горячее 487, 488
Пресс-формы — Материалы 261, 262 — Стойкость, расчетные значения стойкости 345
— для изготовления выплавляемых моделей — Классификация 358, 359
Приборы для контроля шероховатости методом световых и теневых сечений 502
Прибыли 43 — Классификация 85—87 — Конструктивное построение 99 — Определение размеров упрощенным методом 99, 100 — Разновидности сечений 85, 86, 90—92 — Расположение (установка) прибылей 85, 87, 88, 92 — Расчет 88, 92, 95—99 — Соединение с отливкой 99 — Соотношение размеров 101, 102 — Требования к прибылям 87, 88
— круглые — Номограмма для определения размеров 96, 98, 99
— легкоотделяемые — Конструкция 110 — Схемы 109
— обогреваемые экзотермическими смесями 104—106
— плоские — Номограмма для определения размеров 96, 97, 99
— прямого действия и бокового питания 109
— работающие под атмосферным, газовым и воздушным давлением 106, 109, 110
— теплоизолируемые 100—104
Припуски на обработку отливок резанием — Назначение 9, 11 — Определение расчетом 39
— дополнительные 12
— общие 12
— основные 12, 14
Припылы разделительные 256, 257
Присадки защитные 258
Проба технологическая для качественной оценки загрязненности расплава водородом и тонкодисперсными взвесями — Схема заливки 504
Производство отливок из цветных сплавов. Требования безопасности при изготовлении форм и стержней 510, 511
— при литье по выплавляемым моделям и в гипсовые формы 512, 513
— при плавке 511, 512
— размеров 9 — Расположение полей допусков 9, 10
— смещений от номинального положения элементов отливок по плоскости разъема формы 11
Пропитка отливок — Назначение 488 — Пропиточные материалы 489, 490
— из медных сплавов 489
— комбинированная методом «вакуум — давление» 488, 489
Профилографы — Принцип действия 501
Профилометры оптико-механических устройств 501, 503
Прутки присадочные 485
ПСС-процесс 234

Радиусы закруглений — Определение по графикам 26 — Ряд предпочтительных чисел 26
— для внутренних углов 25
— для деталей, отливаемых под давлением 26
— при сопряжении стенок 24—26
Растворители для гидролиза этилсиликатов в воде 390
— органические 361
— применяемые при ультразвуковой очистке отливок 446
Растворы связующие органические для керамических форм 367
Рафинирование расплавов 301, 302
Ребра жесткости отливок 27, 28
Регенерация отработанных смесей и песка — Выбор способа 273, 274 — Оборудование 274, 275 — Схема процесса при поступлении смесей гидрокамер 276
— механическая холодотвердеющих смесей 274
— мокрая 274, 275
— термическая 274
Резьба литая 30—32
Рейнольдса число — Максимально допустимые значения 57
Решетки выбивные 433
Роботы для зачистки отливок 430
— для отрезки выпоров и прибылей 429, 430
— промышленные 429 — Схема 430
Роботы-манипуляторы 350

Санитария производственная при литье

цветных сплавов — Основные вредные вещества, выделяющиеся при отверждении и термодиструкции стержневых смесей 507 — Токсикологическая характеристика металлов: ПДК в воздухе и питьевой воде 507—509 — Факторы, определяющие действие вредных веществ на организм человека 506, 507
Свинец 137 — Химический состав 139
Сетки фильтровальные 76, 77
Силумин в чушках 166
Системы литниковые — Вентиляционные каналы 342, 343 — Выбор способа и места подвода расплава в форму 66, 67 — Выбор типа и конструкции 65 — Гидравлика системы 46 — Конструктивные размеры 54 — Обеспечение заполняемости формы 62 — Подвод металла к отливкам различной конфигурации 342 — Расчет и конструирование 63—65, 80, 339—341 — Рекомендуемые соотношения площадей сечения стояка, коллектора и питателя 71 — Скорости течения расплава 63 — Устранение разрежения 60, 61 — Элементы системы 43
— боковая 44, 45, 81
— вертикально-щелевая 44—46
— верхняя 43, 44, 80
— для заливки форм: под напором стояка 43—46; песчаных форм 70, 71
— комбинированная 44—46
— нижняя 44, 45 — Расчет и конструирование 75—79
— при литье в кокиль 81—85
— при литье в оболочковые формы 83—85
— с дросселем 84
— с подводом расплава к форме через прибыль с перегородкой 67
— с суживающимся каналом 62
— ярусная 44, 45 — Особенности расчета 81 — Режимы заполнения формы 45
Скобы центрирующие 265
Смазки разделительные — Составы 392
Смеси для изготовления форм: гипсовых 397; керамическим по постоянным моделям 390
— жидкие самотвердеющие 245
— на этилсиликатном связующем 390
— песчано-глинистые 233, 242, 243 — Типовые составы 244
— песчано-жидкостекольные 242, 243, 245
— песчано-жидкостекольные самотвердеющие 243
— песчано-масляные (стержневые) 247, 248
— песчано-смоляные 245, 246: для оболочковых форм 378—380, 384; жидкие 277; на основе термореактивных смол 384; стержневые 381—383
— песчано-цементные 245, 246
— плакированные 245
— пластичные самотвердеющие 245, 247
— сыпучие 245 — Состав 246
— формовочные: гипсоасбестовые 396; гипсовые 396, 397
— формовочные графитовые 255: для оболочковых форм 389; для разовых форм 249
— холоднотвердеющие 246, 387 — Состав 246, 247, 249
— экзотермические — Составы и приготовление 104, 105
Смесители непрерывного действия 387
Смолы синтетические 245
— термореактивные 374
Сопряжения — Соотношения толщин стенок на сопрягаемых участках 24 — Степень замкнутости 25 — Углубления в местах сопряжения стенок 25
— двух стенок: параллельных 24; *L*-образных 24, 25
— Т-образные трех стенок 25, 26
— четырех стенок 25, 26
Составы анаэробные для уплотнения отливок 490 — Капиллярный эффект 490, 491
— модельные — Группы 356, 357 — Марки 354, 356 — Классификация 353, 356, 357 — Свойства 354—356
— разделительные 385
Сплавы алюминиевые — Классификация 168 — Область применения 173, 178—183 — Особенности 173 — Свойства 172—177, 179—181 — Химический состав сплавов четырех групп 169—171
— алюминиевые в чушках 171, 172, 178
— вольфрама 194, 196
— магниевые литейные — Недостатки 187 — Область применения 191, 192 — Особенности сплавов 186 — Свойства 188—193 — Химический состав 185
— магниевые литейные в чушках — Химический состав 186 — Маркировка 187
— медно-никелевые (коррозионно-стойкие) 216 — Область применения 216, 219, 221 — Свойства 220, 221 — Химический состав 220
— медные 197
— на основе: молибдена 196; олова и свинца 228, 229; хрома 196, 197
— никелевые 212 — Комплексное легирование 213 — Область применения 214—216
— никелевые: жаропрочные 212, 216, 218, 219; жаростойкие 212, 215, 217; магнитные 214, 217, 219; с молибденом и железом 214
— свинцово-сурьмянистые 231
— свинцово-сурьмянистые в чушках 231
— системы 231
— титановые 193 — Свойства 195, 196 — Химический состав, структура, область применения 194
— тугоплавкие 193
— цинковые 221, 224 — Область применения 225, 226 — Свойства 224, 225 — Химический состав 222
— цинковые: антифрикционные 222, 224, 227, 228; антифрикционные в чушках 223; в чушках 223, 226, 227; при литье под давлением 227
Способы литья специальные — Классификация 323—325 — Область применения различных способов 324—326 — Технологические возможности различных способов 325
Стаканы экзотермические составные круглые и овальные 107, 108
— цельные круглые и овальные 107
Станки зачистные 443
— обдирочно-шлифовальные 444
Станок ленточнопильный горизонтальный 435
Столы очистные дробеметные 438
Стояки — Идеальный профиль и его уравнение 60, 61 — Максимально допустимые скорости потока 78 — Определение фактической расчетной скорости течения расплава 76, 77 — Рекомендуемые размеры в нижнем сечении 72
— для нижней литниковой системы — Определение суммарной площади сечения и числа стояков 77, 78

— зигзагообразные 76, 77
Сурьма 144, 145
Суспензии для изготовления керамических форм 367, 369, 390 — Составы 391, 392
— со связующим из ЭТС — Классификация 368

Тантал 149, 150 — Механические свойства 150
Технологичность конструкции заготовки 20, 21
— литой детали 39 — Повышение жесткости 39 — Снижение металлоемкости 41
— литой детали при литье: под давлением и кокиль 40, 41; в песчаную форму 41
Технология литейная — Разработка 112—114
Течеискатели 499 — Основные параметры 500
— гелиевые 499, 500
Тигли графитовые — Размеры 317
Титан 139, 141 — Химический состав 140
Толщина стенки отливки — Определение 22—24
Точность масс отливок 17
— отливок: геометрическая 8; размерная 8, 17; титановых 12, 16
Трубка литниковая 415 — Размеры поперечного сечения 416

Увлажнители смесей 384
Угар элементов при плавке цветных сплавов 164, 165
Узлы питания отливок 88, 89
Уклоны отливок — Назначение 36, 37
— формовочные на знаковых частях стержня 120
Усадка литейная 116
Установка для литья колес компрессора вакуумным всасыванием 409
— для литья методом последовательно направленной кристаллизации 416
— для определения герметичности литых образцов 499
— для определения расхода металла 125
— литья под низким давлением 405
— литья под электромагнитным давлением 405, 406
— термоэнергетическая для снятия заусенцев 446
— типа «Сплав-1» 497
— электронно-лучевая для переплава титановых отходов 297
Установки автоматические и полуавтоматические для изготовления оболочковых полуформ 385, 386
— для центробежного электрошлакового литья 299, 300
— для электрошлакового литья в кокиль 299, 300
— дозирующие электромагнитные 289—291
— дуговые плавильно-заливочные 295
— плавильные для плавки тугоплавких сплавов 296
— плавильные, электронно-лучевые с одной электронной пушки 297
— рециркуляционные типа ПАП 458, 459, 461, 463
— электрогидравлические 432—434

Феррованадий 148, 149 — Химический состав 148
Ферровольфрам 146 — Химический состав 147
Флюсы 156; для магниевых сплавов 159; для никелевых сплавов 160; покровные 157, 158; рафинирующие 157, 158; рекомендуемые при центробежном литье медных сплавов 423
Формы гипсовые — Изготовление: по восковым моделям 398, 399; по постоянным моделям 398
Формы керамические — Изготовление с использованием промежуточной модели 392 — Материалы 249 — Особенности изготовления 393
— комбинированные 392, 393
— однослойные 392
Формы литейные — Определение параметров 75
Формы оболочковые — Классификация 361—363 — Технология изготовления 359, 369, 385—387
— двухслойные — Электрофоретический способ изготовления 359—361
— изготовленные: из песчано-смоляных смесей 387; наддувом 385; прессованием 384, 385
— многослойные 359
Формы песчаные 58

Холодильники 45, 110—112 — Назначение 265
— внутренние — Материалы 110, 265
— наружные 265
Хром 144 — Марки 145
— первой категории качества 146

Цинк 136 — Примерное назначение 137
— технический — Свойства 137
Цирконий 149

Чаша литниковая — Выбор и объем чаш 67, 68 — Размеры 7
— с двумя порогами и двумя перегородками 69, 70
— с порогом 68, 69
Чертеж: литой детали 38, 39, 113; отливки 113, 116; элементов литейной формы 115—118, 121
Чугуны для рабочих стенок кокиля 261, 263

Шероховатость поверхности отливок — Оценка бесконтактным методом 501—503; измерением контактными способами 501, 502; методом измерения микропрофиля поверхности 502, 503; при визуальном осмотре и сравнении с эталонной отливкой 501, 502
— в зависимости от способов литья и изготовления форм 19, 20
Шихта для выплавки бронз 166, 167
— металлическая 166, 167
Шихта. Расчет состава — Необходимые исходные данные 156 — Расчетный состав 160 — Примеры расчетов 160—163
— аналитический 163, 166
— арифметический 166
Шлакосборники 69
Шоу-процесс 394
Штыри центрирующие 265

Электропечи барабанные 285
— раздаточные 284, 285, 289
— камерные с принудительной циркуляцией 459
Электропечи-миксеры 284, 285, 288
Эталоны шероховатости 501

Ящики стержневые 385, 264

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Галдин Николай Михайлович, Чернега Дмитрий Федорович, Иванчук Дмитрий Филиппович и др.

ЦВЕТНОЕ ЛИТЬЕ

Редактор *Н. Е. Кузнецова*
Переплет художника *А. Я. Михайлова*
Художественный редактор *А. С. Вершинкин*
Технический редактор *Л. А. Макарова*
Корректоры: *О. Ю. Садыкова, А. П. Сизова*

ИБ № 5432

Сдано в набор 25.04.89. Подписано в печать 30.10.89. Т-17839. Формат 60 × 90¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная. Печать офсет.№1. Усл. печ. л. 33,0. Усл. кр.-отт. 33,0. Уч.-изд. л. 42,5. Тираж 16000 экз. Заказ 763. Цена 2 р. 70 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение», 107076, Москва Стромынский пер., 4.

Типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени издательства «Машиностроение при Государственном комитете СССР по печати 193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 1(