

И. Ф. КОЛОБНЕВ,
В. В. КРЫМОВ, А. В. МЕЛЬНИКОВ

СПРАВОЧНИК ЛИТЕЙЩИКА

ЦВЕТНОЕ ЛИТЬЕ ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

*Издание 2-е, переработанное
и дополненное*



Москва
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1974

Колобнев И. Ф., Крымов В. В., Мельников А. В. Справочник литейщика. Цветное литье из легких сплавов. Изд. 2-е, переработ. и доп. М., «Машиностроение», 1974, 416 с.

В справочнике приведены основные сведения по металлосведению, технологии литья и термической обработке легких сплавов (алюминия и магния). Второе издание (1-е изд. 1957 г.) дополнено сведениями по новым высокопрочным и жаропрочным сплавам, прогрессивным способам литья и термической обработке.

Справочник предназначен для инженерно-технических работников литейного производства.

Табл. 246. Ил. 135. Список лит. 75 назв.

Рецензент В. С. Ловчиков

К $\frac{3122-074}{038(01)-73}$ 74-73

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
-----------------------	---

Раздел 1

АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Глава I

Состав, структура и свойства алюминиевых сплавов	5
1. Свойства металлического алюминия	5
2. Классификация алюминиевых сплавов	8
Алюминиевые высококремниевые сплавы	13
Сплавы системы Al—Si	14
Сплавы системы Al—Mg—Si	17
Сплавы системы Al—Si—Cu	20
Сплавы системы Al—Si—Mg—Mn	21
Сплавы системы Al—Si—Mg—Cu	23
Алюминиевые сплавы, содержащие более 4% Mg	25
Сплавы системы Al—Mg	25
Сплавы системы Al—Mg—Si	29
Высокопрочные алюминиевые сплавы, содержащие более 4% Cu	31
Алюминиевые сплавы, содержащие более 3% Zn и более 1,5% Mg	35
Сплавы сложных составов для деталей, работающих при повышенных температурах	38
3. Механические свойства алюминиевых сплавов	47
4. Особенности микроскопического анализа алюминиевых сплавов	59
5. Литейные свойства алюминиевых сплавов	72
6. Особенности алюминиевых литейных сплавов и области их применения	80

Г л а в а II

Шихтовые материалы и расчет шихты	86
1. Шихтовые материалы	86
2. Методика расчета шихты	90

Г л а в а III

Плавка алюминиевых сплавов	93
1. Печи	93
Тигельные печи	93
Отражательные пламенные печи ванного типа	95
Печи сопротивления	97
Индукционные печи	102
2. Ведение плавки алюминиевых сплавов	104
Пуск печей	104
Загрузка	105
3. Приготовление лигатур	105
4. Приготовление алюминиевых сплавов	110
5. Очистка сплава от неметаллических включений	112
6. Классификация модификаторов и методы их введения в сплавы	116
7. Переплавка отходов алюминиевых сплавов	121

Г л а в а IV

Формовочные и стержневые смеси	124
---	------------

Г л а в а V

Заливка форм и отделка отливок	137
1. Особенности заливки алюминиевых сплавов	137
2. Выбивка из форм и отделка отливок	139

Г л а в а VI

Контроль отливок и меры предупреждения брака	141
---	------------

Г л а в а VII

Термическая обработка литых деталей из алюминиевых сплавов	152
1. Общие сведения	152
2. Классификация видов термической обработки	152
3. Классификация режимов термической обработки	153
Процессы, происходящие при термической обработке	153
4. Основные операции термической обработки деталей	156
5. Механизм упрочнения и разупрочнения сплавов в процессе их термической обработки	166
6. Краткая характеристика оборудования	171
Литература	173

Раздел 2

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Глава I

Состав, структура и свойства магниевых сплавов	175
1. Введение	175
2. Свойства металлического магния	177
3. Классификация магниевых сплавов	181
Сплавы системы Mg—Mn	181
Сплавы системы Mg—Al—Zn	185
Сплавы на основе системы Mg—Zn—Zr	195
Сплавы системы Mg—PЗМ—Zr	202
4. Сравнительные свойства магниевых сплавов	205
5. Особенности металлографического анализа магниевых сплавов	213
6. Области применения магниевых сплавов	213

Глава II

Шихтовые материалы и расчет шихты	223
1. Шихтовые материалы	223
Металлическая шихта	223
Неметаллические материалы	227
2. Методика расчета шихты	231

Глава III

Плавка магниевых сплавов	235
1. Печи	235
2. Приготовление лигатур	241
3. Приготовление предварительных и промежуточных сплавов	242
4. Приготовление рабочих сплавов	244
5. Рафинирование и модифицирование магниевых сплавов	247
6. Переплавление стружки магниевых сплавов	249

Глава IV

Формовочные и стержневые смеси	250
--	-----

Глава V

Литниковые системы и особенности формовки для магниевого литья	256
--	-----

Глава VI

Заливка форм	261
------------------------	-----

Глава VII

Контроль отливок и меры предупреждения брака	263
--	-----

Глава VIII

Термическая обработка литых деталей из магниевых сплавов	271
1. Общие сведения	271
2. Классификация режимов термической обработки	271
3. Особенности термической обработки магниевых сплавов	272
4. Краткая характеристика оборудования	276

Глава IX

Защита отливок из магниевых сплавов	279
---	-----

Глава X

Основные вопросы техники безопасности и промышленной санитарии при работе с магниевыми сплавами	282
Литература	282

Раздел 3

СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

Глава I

Литье в песчаные формы	287
1. Разработка технологии изготовления песчаных форм и конструирование отливок	287
2. Литниково-прибыльные системы	291
3. Модельно-опочная оснастка	295
4. Изготовление стержней	300
5. Изготовление форм	310

Глава II

Литье в кокиль	328
1. Алюминиевые и магниевые сплавы для литья в кокиль	328
2. Конструирование отливок	329
3. Литниково-прибыльные системы	332
4. Оснастка	336
5. Кокильные машины	341
6. Освоение и эксплуатация кокилей	346
7. Особенности литья в кокиль алюминиевых и магниевых сплавов	349

Глава III

Литье под давлением	351
1. Конструирование отливок	352
2. Проектирование литниковой системы и вентиляция формы	355
3. Выбор основных технологических параметров литья под давлением	360
4. Машины для литья под давлением	365
5. Дефекты отливок, причины их образования и меры устранения	371
6. Дальнейшее развитие литья под давлением	374

Глава IV

Специальные виды литья в металлические формы	378
1. Литье под низким давлением	378
2. Полужидкая штамповка отливок	386
3. Литье выжиманием	391
4. Центробежное литье	398
Список литературы	402
Предметный указатель	415

ПРЕДИСЛОВИЕ

За прошедшее время с момента первого издания справочника разработано и внедрено в промышленность много новых высокопрочных и жаропрочных литейных алюминиевых и магниевых сплавов; успешно освоены новые прогрессивные высокопроизводительные методы литья в постоянные формы; отработаны наиболее рациональные режимы термической обработки отливок.

Во втором издании все разделы справочника значительно переработаны и дополнены новыми данными, полученными на основании обобщения передового научно-технического и производственного опыта по разработке и внедрению новых сплавов; по усовершенствованию технологии плавки, литья и термической обработки: по освоению прогрессивных и экономичных методов изготовления литых деталей. В справочнике приведены данные по физико-химическим, механическим и технологическим свойствам стандартных и новых алюминиевых и магниевых сплавов, основные технические характеристики современного литейного оборудования.

Наибольшей переработке подвергнут раздел 3 справочника, в котором обобщен накопившийся за последние годы заводской и научно-технический опыт по технологии изготовления отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. Большое внимание уделено методам литья в постоянные металлические формы, объем которых непрерывно возрастает. Специальные виды литья при правильной организации технологического процесса, унификации оснастки и т. п. могут быть рентабельны даже в условиях мелкосерийного производства.

В главе, посвященной литью в песчаные формы, основное внимание уделено механизации процессов приготовления форм и стержней, дано подробное описание современного формовочного оборудования литейных цехов и участков, производящих литье из легких цветных сплавов.

Справочник написан коллективом авторов: раздел 1 — И. Ф. Колбневым совместно с Б. П. Домашниковым; раздел 2 — В. В. Крымовым; раздел 3 — А. В. Мельниковым (главы I—III) и Н. С. Постниковым (глава IV).

Авторы выражают благодарность В. С. Ловчикову и П. П. Москвину за ценные замечания, сделанные ими при рецензировании рукописи.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

t — температура в $^{\circ}\text{C}$

ρ — плотность в $\text{г}/\text{см}^3$

$\sigma_{\text{в}}$ — предел прочности при растяжении в $\text{кгс}/\text{мм}^2$

$\sigma_{\text{т}}$ и $\sigma_{0.2}$ — предел текучести в $\text{кгс}/\text{мм}^2$

$\sigma_{\text{уп}}$ — предел упругости в $\text{кгс}/\text{мм}^2$

$\tau_{\text{ср}}$ — сопротивление срезу в $\text{кгс}/\text{мм}^2$

E — модуль нормальной упругости в $\text{кгс}/\text{мм}^2$

G — модуль сдвига в $\text{кгс}/\text{мм}^2$

δ — относительное удлинение в %

ψ — относительное сужение в %

$a_{\text{н}}$ — ударная вязкость в $\text{кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2$

μ — коэффициент Пуассона

c — удельная теплоемкость в $\text{кал}/(\text{г}\cdot^{\circ}\text{C})$

λ — коэффициент теплопроводности в $\text{кал}/(\text{см}\cdot\text{с}\cdot^{\circ}\text{C})$

α — коэффициент линейного расширения в $1/^{\circ}\text{C}$

ρ — удельное электросопротивление в $\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$

G — масса в кг

τ — время

F — площадь

p — давление в $\text{кгс}/\text{см}^2$

$H\text{В}$ — твердость по Бринеллю в $\text{кгс}/\text{мм}^2$

H — микротвердость в $\text{кгс}/\text{мм}^2$

P — усилие в кгс

v — скорость заливки

АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Глава I

СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

1. СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ

Широкое применение алюминиевых сплавов в промышленности объясняется тем, что их основа обладает малой плотностью, сравнительно невысокой температурой плавления, хорошими физическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью.

Алюминий в земной коре находится в виде следующих химических соединений: корунда Al_2O_3 , полевых шпатов или силикатов, например ортоклаза $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, нефелина $(Na, K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, шпинелей $MgO \cdot Al_2O_3 \cdot xK_nO_m$, каолина $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$, криолита $3NaF \cdot AlF_3$, бокситов $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot Fe_2O_3 \cdot TiO_2 \cdot H_2O$ и т. д. Плотность металлического алюминия (чистотой 99,75%) зависит от температуры (табл. 1.1).

1.1. Зависимость плотности алюминия от температуры

t в °C	ρ в г/см ³	t в °C	ρ в г/см ³
20	2,703	658	2,382
100	2,690	(жидкий)	
400	2,620	700	2,371
658	2,550	900	2,316
(твердый)		1100	2,262

Температура плавления алюминия высокой чистоты (99,996%) $660,24^\circ C$, температура кипения $2200^\circ C$. Алюминий трехвалентен, атомный радиус составляет $1,041 \text{ \AA}$. Он кристаллизуется в виде гранецентрированной кубической решетки. Параметр кристаллической решетки алюминия зависит от степени его чистоты и изменяется от $4,041$ до $4,047 \text{ \AA}$.

Вязкость при различных температурах имеет следующие значения:

Температура в °C	720	765	800
Вязкость в П	0,0125	0,01175	0,01102

Величина поверхностного натяжения алюминия при $700^\circ C$ составляет 900 дин/см , а при $800^\circ C$ — 865 дин/см .

Температура плавления алюминия в зависимости от его чистоты колеблется между 657—660° С, а температура кипения 2452 ± 15° С. Скрытая теплота плавления алюминия равна 96 кал/г, а скрытая теплота испарения 2500 кал/г.

1.2. Зависимость удельной теплоемкости алюминия от температуры

t в °С	c в кал/(г·°С)	t в °С	c в кал/(г·°С)
-253,9	0,0024	200	0,2374
-184,7	0,0967	400	0,2529
-114,3	0,1709	658	0,2727
-81,5	0,1867	(твердый) 658	0,2502
0	0,2220	(жидкий) 800	0,2571
100	0,2297	1000	0,2667

1.3. Зависимость коэффициента теплопроводности алюминия от температуры

t в °С	λ в кал/(см·с·°С)	t в °С	λ в кал/(см·с·°С)
-200	1,17	20	0,55
-150	0,63	100	0,52
-100	0,61	200	0,50
		400	0,46

Значения удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности и линейного расширения алюминия в зависимости от температуры приведены в табл. 1.2, 1.3 и 1.4.

1.4. Коэффициент линейного расширения алюминия при различных температурах

t в °С	$\alpha \cdot 10^6$ в 1/°С
20—100	23,86
20—200	24,58
20—300	25,50
20—400	26,50
20—500	27,68

Алюминий в литом состоянии имеет следующие механические свойства:

$$\begin{aligned} \sigma_B &= 5 \div 12 \text{ кгс/мм}^2; \\ \sigma_T &= 2 \div 6 \text{ кгс/мм}^2; \\ \sigma_{уп} &= 1 \div 3 \text{ кгс/мм}^2; \\ \delta_B &= 10 \div 50\%; \\ a_n &= 10 \div 20 \text{ м/см}^2; \\ \tau_{ср} &= 5 \div 8 \text{ кгс/мм}^2; \\ E &= 6900 \div 7300 \text{ кгс/мм}^2; \end{aligned}$$

НВ15 — 30.

Алюминий имеет высокую химическую активность. Он довольно легко восстанавливает большинство металлов из их оксидов, соединяется с галогенами ($AlCl_3$, AlJ_3 , $AlBr_3$), а при высоких температурах — с серой, азотом, фосфором, водородом и углеродом. Со щелочами алюминий образует алюминаты. Алюминий легко окисляется, причем окис-

ная пленка алюминия обладает повышенной плотностью и поэтому предохраняет его от дальнейшего окисления.

Растворимость легирующих элементов в твердом алюминии показана на рис. 1.1. В алюминии растворяются различные газы (H_2 , CH_4 , CO и др.), причем водород растворяется в большом количестве (табл. 1.5).

Примеси щелочных и щелочноземельных металлов (K, Na, Li, Ca) увеличивают степень поглощения водорода.

Сера или сернистый газ (из продуктов горения топлива) образует с алюминием сульфид алюминия Al_2S_3 , азот — твердый нитрид алюминия AlN , фосфор — ряд соединений Al_3P_7 , Al_5P_3 , AlP , Al_3P и углерод — карбид алюминия Al_4C_3 . Эти соединения не растворяются в жидком алюминии, плотность их значительно меньше плотности алюминия, что позволяет с помощью рафинирования очистить расплав от подобных неметаллических включений. Следует заметить, что присутствие в алюминии указанных выше соединений в пределах сотых долей не влияет на его механические свойства.

В табл. 1.6 приведен химический состав первичного алюминия.

Алюминий высокой чистоты (A995, A99, A97, A95) в основном применяют для производства химической аппаратуры, электрических конденсаторов, в специальных экспериментальных исследованиях, а также для изготовления наиболее высокопрочных алюминиевых сплавов, например сплава АЛ4М, В2243 и др. Алюминий технической чистоты (А7, А6) применяют для изготовления сплавов АЛ2, АЛ3, АЛ5, АЛ6 и др.

1.5. Растворимость водорода в алюминии при различных температурах

t в °С	Растворимость водорода в см ³ /100 г	t в °С	Растворимость водорода в см ³ /100 г
300	0,001	658 (жидкий)	0,69
400	0,005	700	0,92
500	0,012	800	1,67
600	0,026	850	2,10
658 (твердый)	0,036		

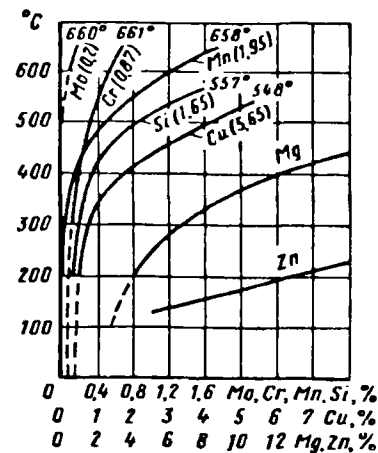


Рис. 1.1. Изменение растворимости легирующих элементов в твердом алюминии в зависимости от температуры

1.6. Химический состав первичного алюминия в % (ГОСТ 11069—64)

Марка алюминия	Al	Примесей, не более					
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Всего
<i>Высокой чистоты</i>							
A995	99,995	0,0015	0,0015	0,0010	0,001	0,001	0,005
A99	99,99	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,01
A97	99,97	0,015	0,015	0,005	0,004	0,002	0,03
A95	99,95	0,030	0,030	0,010	0,005	0,002	0,05
<i>Технической чистоты</i>							
A85	99,85	0,08	0,06	0,01	0,02	0,01	0,15
A8	99,80	0,12	0,10	0,01	0,04	0,02	0,20
A7	99,70	0,16	0,16	0,01	0,05	0,02	0,30
A6	99,60	0,25	0,20	0,01	0,06	0,03	0,40
A5	99,50	0,30	0,30	0,02	0,06	0,03	0,50
A0	99,00	0,50	0,50	0,02	0,08	0,03	1,00

2. КЛАССИФИКАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Все алюминиевые литейные сплавы по ГОСТ 2685—63 разделяются на пять основных групп (табл. 1.7) в зависимости от химического состава сплавов (табл. 1.8).

1.7. Классификация стандартных алюминиевых литейных сплавов

Группа	Система	Марка сплава	Характеристика сплава
I	Al—Mg Al—Mg—Mn—Si Al—Mg—Si—Mn Al—Mg—Si—Ti—Be Al—Mg—Be—Ti	АЛ8 АЛ13 АЛ29 АЛ22 АЛ23, АЛ27	При содержании более 4% Mg сплавы имеют минимальную плотность и отличную коррозионную стойкость
II	Al—Si Al—Si—Mg Al—Si—Mn—Mg	АЛ2 АЛ9, АЛ9В, АЛ4, АЛ4В	При содержании более 5% Si сплавы обладают высокими литейными свойствами
III	Al—Cu Al—Cu—Mn—Ti	АЛ7, АЛ7В АЛ19	При содержании более 4% Cu сплавы обладают пониженными литейными свойствами. Эти сплавы отличаются высокими прочностными свойствами
IV	Al—Si—Cu	АЛ3, АЛ5, АЛ6 АЛ10В, АЛ14В, АЛ4М, АЛ32, В124 и др.	Уступают сплавам системы Al—Si—Mg по литейным свойствам, но превосходят их по прочности и жаропрочности
V	Сложная	АЛ1, АЛ16В, АЛ17В, АЛ18В, АЛ20, АЛ21, АЛ24, АЛ25, АЛ26, АЛ30	Сплавы имеют повышенную жаропрочность и пониженные литейные свойства

1.8. Химический состав алюминиевых сплавов в % (ГОСТ 2685—63)

Группа	Марка сплава	Основные компоненты (Al — остальное)							Примеси, не более		
		Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Zn	Ti	Fe		
									З, О, В	К	Д
I	АЛ8	9,5—11,5	—	—	—	—	—	—	0,3	0,3	—
	АЛ27	9,5—11,5	—	—	0,05— 0,15Be	0,05— 0,2Zr	—	0,05—0,15	0,2	0,2	0,2
	АЛ27-1	9,5—11,5	—	—	0,05— 0,15Be	0,05— 0,2Zr	—	0,05—0,15	0,05	0,05	0,05
	АЛ13	4,5—5,5	0,8—1,3	0,1—0,4	—	—	—	—	0,5	0,5	1,5
	АЛ22	10,5—13,0	0,8—1,2	—	0,03— 0,07Be	—	—	0,05—0,15	0,5	1,0	1,2
	АЛ23	6,0—7,0	—	—	0,02— 0,10Be	0,05— 0,2Zr	—	0,05—0,15	0,2	0,2	—
	АЛ23-1	6,0—7,0	—	—	0,02— 0,10Be	0,05— 0,2Zr	—	0,05—0,15	0,05	0,05	—
	АЛ28	4,8—6,3	—	0,4—1,0	—	—	—	0,05—0,15	0,3	0,4	0,5
	АЛ29	6,0—8,0	0,5—1,0	0,25—0,6	—	—	—	—	—	—	0,9
II	АЛ2	—	10,0—13,0	—	—	—	—	—	0,8	1,0	1,5
	АЛ4	0,17—0,3	8,0—10,5	0,2—0,5	—	—	—	—	0,6	0,9	1,0
	АЛ4В	0,2—0,4	8,0—11,0	0,2—0,5	—	—	—	—	0,9	1,2	1,3
	АЛ9	0,2—0,4	6,0—8,0	—	—	—	—	—	0,6	1,0	1,5
	АЛ9В	0,2—0,5	6,0—8,0	—	—	—	—	—	1,1	1,2	1,3

Группа	Марка сплава	Основные компоненты (Al — остальное)							Примеси, не более				
		Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Zn	Ti	Fe				
									З, О, В	К	Д		
III	АЛ7	—	—	—	4,0—5,0	—	—	—	1,0	1,0	—		
	АЛ7В	—	—	—	3,0—5,0	—	—	—	1,1	1,3	—		
	АЛ19	—	—	0,6—1,0	4,5—5,3	—	—	0,15—0,35	0,2	—	—		
IV	АЛ3	0,35—0,6	4,5—5,5	0,6—0,9	1,5—3,0	—	—	—	0,6	1,2	1,5		
	АЛ3В	0,2—0,8	4,0—6,0	0,2—0,8	1,5—3,5	—	—	—	1,1	1,3	1,3		
	АЛ5	0,35—0,6	4,5—5,5	—	1,0—1,5	—	—	—	0,6	1,0	1,5		
	АЛ6	—	4,5—6,0	—	2,0—3,0	—	—	—	1,1	1,4	1,5		
	АЛ10В	0,2—0,5	4,5—6,5	—	6,0—8,0	—	—	—	1,2	1,2	1,3		
	АЛ14В	0,2—0,6	6,0—8,0	0,2—0,6	1,5—3,0	—	—	—	1,1	1,3	1,3		
	АЛ15В	—	3,0—5,0	0,2—0,6	3,5—5,0	—	—	—	1,2	1,3	1,3		
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
V	АЛ1	1,25—1,75	—	—	3,75—4,50	1,75—2,25	—	—	—	0,8	0,8	—	
	АЛ11	0,1—0,3	6,0—8,0	—	—	—	—	—	—	0,8	1,2	1,5	
	АЛ16В	—	3,0—5,0	0,2—0,5	2,0—4,0	—	—	7,0—12,0	—	1,1	1,2	—	
	АЛ17В	0,1—0,3	3,5—5,5	0,4—0,7	0,5—3,0	—	—	2,0—4,0	—	1,2	1,3	—	
	АЛ18В	—	1,5—2,5	0,3—0,8	7,5—9,5	1,0—1,8Fe	—	—	—	—	—	—	
	АЛ20	0,7—1,2	1,5—2,0	0,15—0,30	3,5—4,5	1,2—1,7Fe	—	—	0,15— 0,25Cr	0,05—0,10	—	—	—
	АЛ21	0,8—1,3	—	0,15—0,25	4,6—6,0	2,6—3,6	—	—	0,1—0,2Cr	—	0,6	0,6	—
	АЛ24	1,5—2,0	—	0,2—0,5	—	—	—	—	3,5—4,5	—	0,5	—	—
	АЛ25	0,8—1,3	11,0—13,0	0,3—0,6	1,5—3,0	0,8—1,3	—	—	—	0,05—0,20	—	—	0,8
	АЛ26	0,4—0,7	20,0—22,0	0,4—0,8	1,5—2,5	1,0—2,0	—	—	0,1—0,4Cr	—	—	—	0,7
	АЛ30	0,8—1,3	11,0—13,0	—	0,8—1,5	0,8—1,3	—	—	—	—	—	—	0,7

Группа	Марка сплава	Примеси, не более									Сумма учитываемых примесей		
		Mg	Si	Mn	Cu	Zn	Sn	Pb	Ni	Zr	З, О, В	К	Д
I	АЛ8	0,07 Be	0,3	0,1	0,3	0,1	—	—	0,07 Ti	0,2	1,3	1,3	—
	АЛ27	—	0,2	0,1	0,15	0,1	—	—	—	—	0,6	0,6	0,6
	АЛ27-1	—	0,05	0,1	0,05	0,05	—	—	—	—	0,2	0,2	0,2
	АЛ13	—	—	—	0,1	0,2	—	—	—	0,15	0,7	0,7	1,9
	АЛ22	—	—	—	—	0,1	—	—	—	0,2	0,7	1,2	1,4
	АЛ23	—	0,2	0,1	0,15	0,1	—	—	—	—	0,6	0,6	—
	АЛ23-1	—	0,05	0,1	0,05	0,05	—	—	—	—	0,2	0,2	—
	АЛ28	—	0,3	—	0,3	—	—	—	—	—	0,6	0,7	0,8
	АЛ29	0,01 Be	—	—	—	0,1	0,2	—	—	—	—	—	1,0
II	АЛ2	0,1	—	0,5	0,6	0,3	—	—	—	—	2,2	2,3	2,8
	АЛ4	0,1 Be	—	—	0,3	0,3	0,01	—	0,05	0,15 Ti	1,2	1,5	1,6
	АЛ4В	—	—	—	1,0	0,5	—	—	0,3	—	2,6	2,8	3,0
	АЛ9	0,1 Be	—	0,5	0,2	0,3	0,01	—	0,05	0,15 Ti	1,2	1,6	2,1
	АЛ9В	—	—	0,6	1,5	0,5	—	—	0,3	—	3,7	3,8	4,1
III	АЛ7	0,03	1,2	0,1	—	0,2	0,01	—	0,2 Ti	—	2,2	2,2	—
	АЛ7В	0,3	1,5	0,5	—	0,5	—	—	0,3	—	4,0	4,2	—
	АЛ19	0,05	0,3	—	—	0,2	—	—	0,1	0,20	1,0	0,8	—
IV	АЛ3	—	—	—	—	0,3	0,01	—	—	Zr+Ce	1,2	1,8	2,0
	АЛ3В	—	—	—	—	0,5	—	—	0,5	0,5	2,0	2,1	2,3

Группа	Марка сплава	Примеси, не более									Сумма учитываемых примесей		
		Mg	Si	Mn	Cu	Zn	Sn	Pb	Ni	Zr	З, О, В	К	Д
	АЛ5	0,1 Be	—	0,5	—	0,3	0,01	—	0,15 Ti	—	1,1	1,4	1,8
	АЛ6	0,1	—	0,3	—	0,3	—	—	—	—	1,8	2,0	2,2
	АЛ10В	—	—	0,5	—	0,6	—	—	0,5	—	2,5	2,7	—
	АЛ14В	—	—	—	—	0,5	—	—	0,3	—	1,8	2,0	2,0
	АЛ15В	0,5	—	—	—	2,0	—	—	0,5	—	4,0	4,1	—
V	АЛ1	—	0,7	—	—	0,3	—	—	—	—	1,5	1,5	—
	АЛ11	—	—	0,5	0,6	—	—	—	—	—	1,8	2,0	2,6
	АЛ16В	0,5	—	—	—	—	—	—	0,3	—	1,7	1,8	—
	АЛ17В	—	—	—	—	—	—	—	0,5	—	1,7	2,0	—
	АЛ18В	0,8	—	—	—	0,5	—	—	0,5	—	1,7	—	—
	АЛ20	—	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—	—	—
	АЛ21	—	0,5	—	—	0,3	—	—	—	—	1,4	1,4	—
	АЛ24	0,1 Be	0,3	—	0,2	—	—	—	—	—	0,1	1,0	—
	АЛ25	—	—	—	—	0,5	0,02	0,1	0,2 Cr	—	—	—	1,2
	АЛ26	—	—	—	—	0,3	0,01	0,05	0,2 Ti	—	—	—	0,9
АЛ30	—	—	0,2	—	0,2	0,01	0,05	0,2 Ti	—	—	—	1,2	

- Примечания: 1. При применении сплавов для деталей, работающих в морской среде, содержание меди в сплаве марки АЛ2 не должно превышать 0,3%, а в сплаве марки АЛ28 — 0,1%.
2. При применении сплавов для литья в кокиль в сплавах марок АЛ7 и АЛ7В допускается содержание кремния до 3%, а в сплаве марки АЛ22 допускается отсутствие титана.
3. При применении сплавов для литья под давлением в сплаве марки АЛ11 допускается отсутствие магния, в сплаве марки АЛ22 допускается содержание 0,8—1,6% кремния, до 0,5% марганца и отсутствие титана.
4. При применении сплавов для пищевой посуды в сплавах марок АЛ3В, АЛ9В и АЛ14В содержание свинца не должно превышать 0,15%, мышьяка 0,015% и цинка 0,3%.
5. В графах буквы означают способ литья: З — в песчаные формы, О — оболочковые формы, В — по выплавляемым деталям, К — в кокиль, Д — под давлением.

Алюминиевые высококремниевые сплавы

Эти сплавы подразделяются на две группы: 1) содержащие 6—13% Si и 2) содержащие более 13% Si.

Сплавы первой группы широко применяют во всех отраслях народного хозяйства, тогда как сплавы второй группы — только для изготовления литых поршней и деталей, от которых требуется низкий коэффициент линейного расширения.

На рис. 1.2 представлена диаграмма состояния системы Al—Si.

По диаграмме растворимость кремния в твердом алюминии при температуре 550°С составляет около 1,5%, а при температуре 200°С — 0,1%. Кремний не образует с алюминием соединений, поэтому он находится в виде отдельных частиц или в двойной эвтектике $\alpha + Si$, количество которой растет с увеличением содержания кремния до 11,7%.

Таким образом, микроструктура двойных сплавов может состоять только из двух фаз: твердого раствора кремния в алюминии и твердого раствора алюминия в кремнии. Но так как растворимость алюминия в твердом кремнии ничтожно мала в равновесных условиях (параметр решетки чистого кремния $a = 5,4173 \text{ \AA}$, а твердого раствора алюминия в кремнии $a = 5,4176 \text{ \AA}$) кристаллы (зерна) твердого раствора алюминия в кремнии большинство исследователей рассматривают как зерна кремния. Однако растворимость кремния в неравновесном состоянии при высокой скорости кристаллизации, по данным Н. И. Варича, может составлять до 10%. Такой твердый раствор весьма неустойчивый и при температуре 150°С распадается.

Атомы кремния в зонном упрочнении практически не участвуют, и фазовое упрочнение ничтожно мало, поэтому все двойные сплавы системы Al—Si имеют пониженную прочность. Для повышения прочности к высококремниевым алюминиевым сплавам часто добавляют магний, медь и другие компоненты, значительное количество которых при температуре закалки остается в твердом растворе алюминия. Они в процессе искусственного старения образуют соединения, способствующие дисперсионному твердению.

Высококремниевые сплавы содержат большое количество эвтектики, обычно превышающее 35%, которая обуславливает не только высокую жидкотекучесть сплавов, но и другие технологические свойства (высокую герметичность, несклонность к образованию горячих трещин и т. д.).

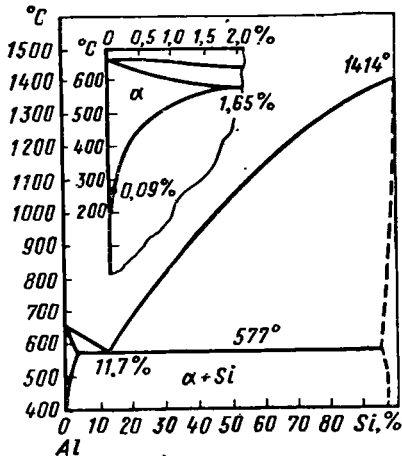


Рис. 1.2. Диаграмма состояния сплавов Al—Si и изменение растворимости Si в твердом алюминии с повышением температуры

В противоположность этому сплавы с широким температурным интервалом кристаллизации кристаллизуются таким образом, что во внешней зоне отливки сначала образуются первичные разрозненные кристаллы, окруженные еще не застывшей частью жидкой фазы, количества которой недостаточно для равномерного питания сплошного фронта кристаллизации. При охлаждении между первичными кристаллами (зернами) возникают вначале ультрамикроскопические, а затем и макроскопические усадочные раковины.

Участки с усадочными раковинами обычно являются концентраторами больших внутренних напряжений, которые нередко вызывают образование трещин в отливках. В этом состоянии отливка не может сопротивляться растягивающим усилиям, развивающимся в поверхностных слоях под действием горячих внутренних слоев, стремящихся к сжатию. В результате образуются ультрамикроскопические трещины, которые при термической обработке превращаются в макроскопические трещины, являющиеся причиной брака отливок.

Сплавы системы Al—Si

Следует отметить два сплава: с 5% Si и 12% Si. Сплав с 5% Si как низколегированный сплав с невысокой механической прочностью ($\sigma_b = 13 \div 15$ кгс/мм² при $\delta = 4 \div 6\%$) применяют главным образом для литья сварочных прутков, для заварки дефектных мест отливок из сплавов АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9 и т. д. Сплав АЛ2 (12% Si) применяют осо-

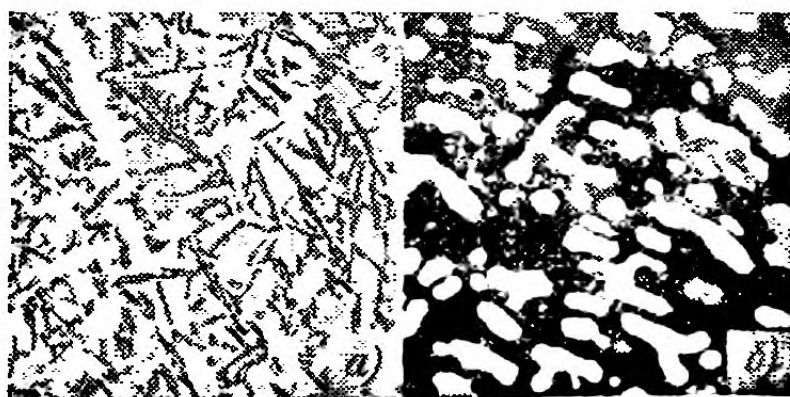


Рис. 1.3. Микроструктура сплава АЛ2 в различном состоянии ($\times 100$):

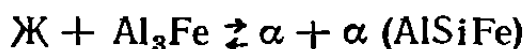
а — немодифицированного (10% Si); б — модифицированного (10% Si)

бенно широко для литья под давлением, а также для производства крупногабаритных отливок в судостроительной промышленности. Прочностные свойства сплава АЛ2 могут значительно изменяться в зависимости от строения эвтектики $\alpha + Si$. Чем мелкозернистее эвтектика, тем выше прочность и в особенности пластичность сплава АЛ2.

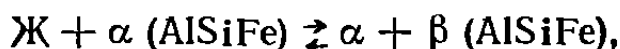
Для повышения механической прочности и в особенности пластичности сплав АЛ2 подвергают модифицированию. Микроструктура сплава АЛ2 в различном состоянии дана на рис. 1.3.

Двойные сплавы типа силумин в промышленности применяют только в литом состоянии. Это объясняется тем, что в закаленном состоянии пересыщенный твердый раствор в алюминии весьма неустойчив, его распад протекает быстро при температурах 100—150° С, а выделившиеся из твердого раствора частицы элементарного кремния быстро коагулируют, причем чем выше температура отпуска, тем крупнее частицы кремния.

Согласно диаграмме состояния (рис. 1.4) алюминиевого угла системы Al—Si—Fe в сплавах, расположенных выше линии BCDEK, первично кристаллизуется металлическое соединение FeAl₃ или одна из тройных фаз переменного состава α (AlSiFe) и β (AlSiFe), что зависит от содержания кремния, причем обе эти фазы могут перитектически образоваться по реакции



или



а в точке E образуется тройная эвтектика α + Si + β (AlSiFe), содержащая 0,8% железа (по данным Филлипса и Вэрлея, по другим данным 0,5—0,6%).

Все эти три железосодержащие фазы при обычных температурах кристаллизации сплавов имеют грубокристаллическое строение, и поэтому они оказывают сильное влияние на снижение механических свойств, в особенности пластичности [40].

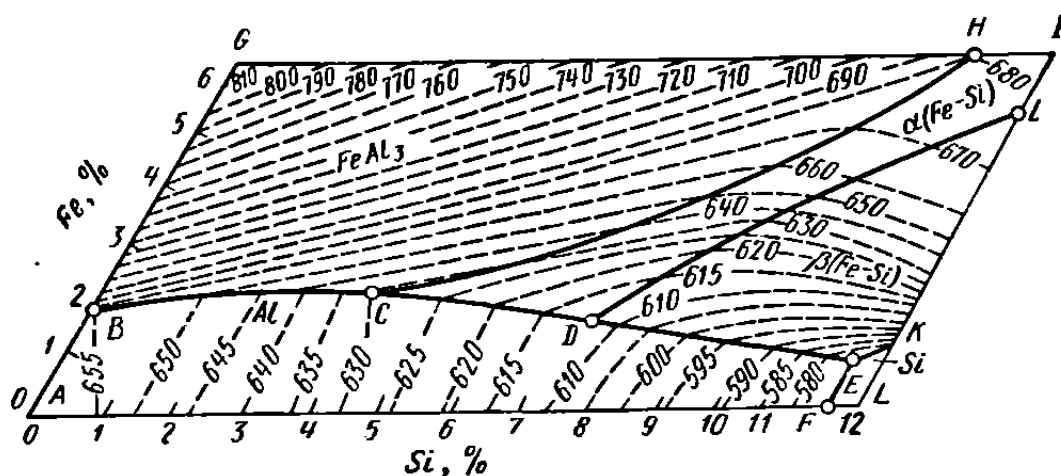


Рис. 1.4. Алюминиевый угол тройной диаграммы состояния сплавов системы Al—Si—Fe

Поскольку фазы α (AlSiFe) и β (AlSiFe) имеют переменный состав, некоторые исследователи дают им разные обозначения и приводят различные их химические составы. Тем не менее указанные выше фазы могут быть подразделены между собой как по методу дифференциального травления соответствующими реактивами, так и по форме их кристаллизации.

Влияние элементов на свойства сплавов типа силумин (Al₁₂ и др.) приведено в табл. 1.9.

1.9. Влияние элементов на свойства сплавов типа силумин (АЛ2, АЛ4, АЛ9)

Элемент	ρ в г/см ³	$t_{пл}$ в °С	Типичные химические соединения с Al	Характерное влияние
Be	1,835	1284	Al ₃ BeFe	Оказывает рафинирующее действие, значительно уменьшает вредное влияние железа на механические свойства сплавов
B	2,34	2300	AlB ₂	Оказывает рафинирующее действие, несколько измельчает структуру сплавов, образует компактные формы кристаллизации фазы AlB ₂ и тем самым способствует повышению пластичности сплавов
Mg	1,74	650	Al ₃ Mg ₂	Способствует резкому повышению механических свойств сплавов, увеличивает пористость в отливках
Cu	8,9	1083	Al ₂ Cu	Повышает механические свойства сплавов, ухудшает их коррозионную стойкость
K	0,86	64	—	Способствуют измельчению структуры эвтектики и резкому увеличению пористости в отливках, взаимодействуют с влагой футеровки формы и атмосферы, увеличивают вязкость сплавов
Li	0,53	179	—	
Na	0,97	98	—	
Sn	7,3	232	—	Олово уменьшает коррозионную стойкость сплавов; свинец и олово как низкоплавкие вещества очень снижают эффект термической обработки сплавов
Pb	11,34	323	—	
Zn	7,13	419,5	—	Повышает механические свойства сплавов, ухудшает их литейные свойства
Ca	1,55	849	Al ₂ Ca	Повышает электропроводность сплавов, восстанавливает алюминий из его окиси, а окись кальция резко снижает жидкотекучесть и механические свойства сплавов (в особенности их пластичность)
Fe	7,8	1539	Al ₃ Fe	Резко снижает пластичность сплавов, но повышает их жаропрочность
V	6,11	1919	Al ₂ V	Значительно уменьшают вредное влияние железа на механические свойства сплавов, повышают их жаропрочность и уменьшают пористость в отливках
Cr	7,2	1890	Al ₂ Cr	
Mn	7,4	1260	Al ₃ Mn	
Co	8,6	1480	Al ₃ Co	
Mo	10,2	2692	Al ₃ Mo	
Ni	8,9	1452	Al ₃ Ni	
Ti	4,54	1725	Al ₃ Ti	Измельчает структуру сплавов, тем самым повышает их механические свойства

Продолжение табл. 1.9

Элемент	ρ в г/см ³	$t_{пл}$ в °С	Типичные химические соединения с Al	Характерное влияние
Zr	6,25	1925	Al ₃ Zr	Измельчает структуру сплавов и уменьшает пористость в отливках, повышает механические свойства

Сплавы системы Al—Mg—Si

На рис. 1.5 приведена часть тройной диаграммы, которая квазибинарным разрезом Al—Mg₂Si делится на две вторичные системы: 1) Al—Al₃Mg₂—Mg₂Si, имеющую тройную эвтектику $\alpha + Al_3Mg_2 + Mg_2Si$ состава 65,25% Al, 34% Mg и 0,75% Si с температурой плавления 448° С;

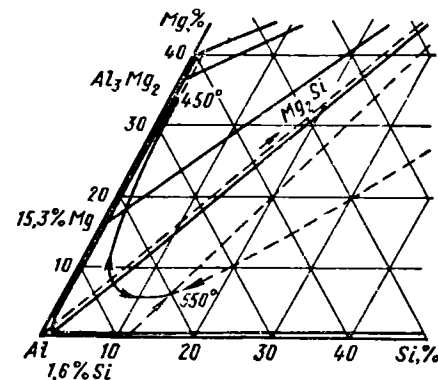


Рис. 1.5. Алюминиевый угол тройной диаграммы состояния сплавов системы Al—Mg—Si

2) Al—Mg₂Si—Si, имеющую тройную эвтектику $\alpha + Mg_2Si + Si$ состава 82,06% Al, 12,97% Si и 4,97% Mg с температурой плавления 550° С.

Такое деление алюминиевого угла тройной диаграммы состояния Al—Mg—Si на две части характеризует разную природу сплавов, учитываемую при практическом их применении. Например, в первой части (Al—Al₃Mg₂—Mg₂Si) располагаются промышленные сплавы типа АЛ113, АЛ22, богатые твердым раствором, которые отличаются наиболее высокой коррозионной стойкостью и удовлетворительными литейными свойствами, во второй части (Al—Mg₂Si—Si) располагаются промышленные сплавы типа АЛ4 и АЛ9, бедные твердым раствором, но с большим количеством двойной эвтектики $\alpha + Si$, благодаря чему они отличаются наиболее высокими литейными свойствами.

Степень растворимости Mg_2Si в твердом алюминии в зависимости от температуры приведена на рис. 1.6. При температурах отпуска растворимость Mg_2Si практически в 2 раза превышает растворимость кремния

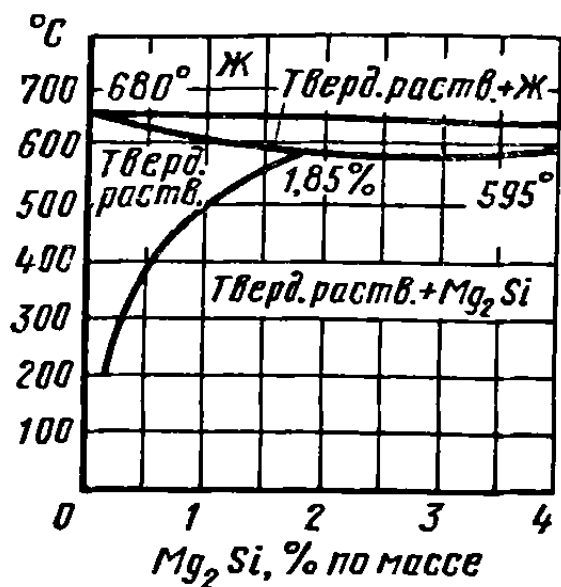


Рис. 1.6. Растворимость Mg_2Si в твердом алюминии

в алюминии (табл. 1.10), тогда как в интервале температур гомогенизации и закалки разница в растворимости сглаживается. Кроме того, при распаде твердого раствора частички кремния во много раз больше склонны к коагуляции, чем частички Mg_2Si .

Эти два фактора сильно влияют на изменение механических свойств термически обработанных тройных (и двойных) сплавов.

Степень эффекта воздействия магния на механические свойства тройных сплавов зависит от количества кремния в сплаве (табл. 1.11). Прочность сплавов, содержащих магний, возрастает при переходе от сплавов типа АЛ9 к сплавам типа АЛ2. Однако последние имеют большую склонность к образованию крупной газовой пористости и концентрированных усадочных раковин в массивных частях отливок. Поэтому промежуточные сплавы типа АЛ4 по прочности и по литейным свойствам

1.10. Растворимость Si и Mg_2Si в твердом алюминии в %

Добавки	Температура в °C							
	200	300	350	400	450	500	550	575
Si	0,05	0,10	0,17	0,29	0,48	0,8	1,3	1,6
Mg_2Si	0,25	0,30	0,4	0,53	0,75	1,05	1,4	1,7

1.11. Влияние магния на механические свойства алюминиевокремниевых сплавов, модифицированных и термически обработанных по режиму T6

Содержание Mg в %	Содержание в сплавах											
	7% Si				9% Si				11% Si			
	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ в %	HB	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ в %	HB	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ в %	HB
	в кгс/мм ²				в кгс/мм ²				в кгс/мм ²			
0,0	14	7	12	40	15	9	13	45	16	9	14	50
0,1	15	9	10	50	17	11	10	50	19	13	9	50
0,2	17	10	8	55	23	12	7	55	24	14	6	55
0,3	20	12	6	60	25	14	5	65	27	15	4	65
0,4	23	13	5	65	28	15	4	70	29	17	3	70
0,5	27	16	4	70	30	18	3	75	33	20	2	75

имеют большое преимущество по сравнению со сплавами типов АЛ9 и АЛ2. Приведенные данные в табл. 1.11 несколько завышены, так как они получены для сплавов из достаточно чистых исходных металлов с минимальным содержанием железа (до 0,4%).

Наиболее типичным тройным сплавом системы Al—Si—Mg является сплав АЛ9, содержащий 6—8% Si, 0,2—0,4% Mg.

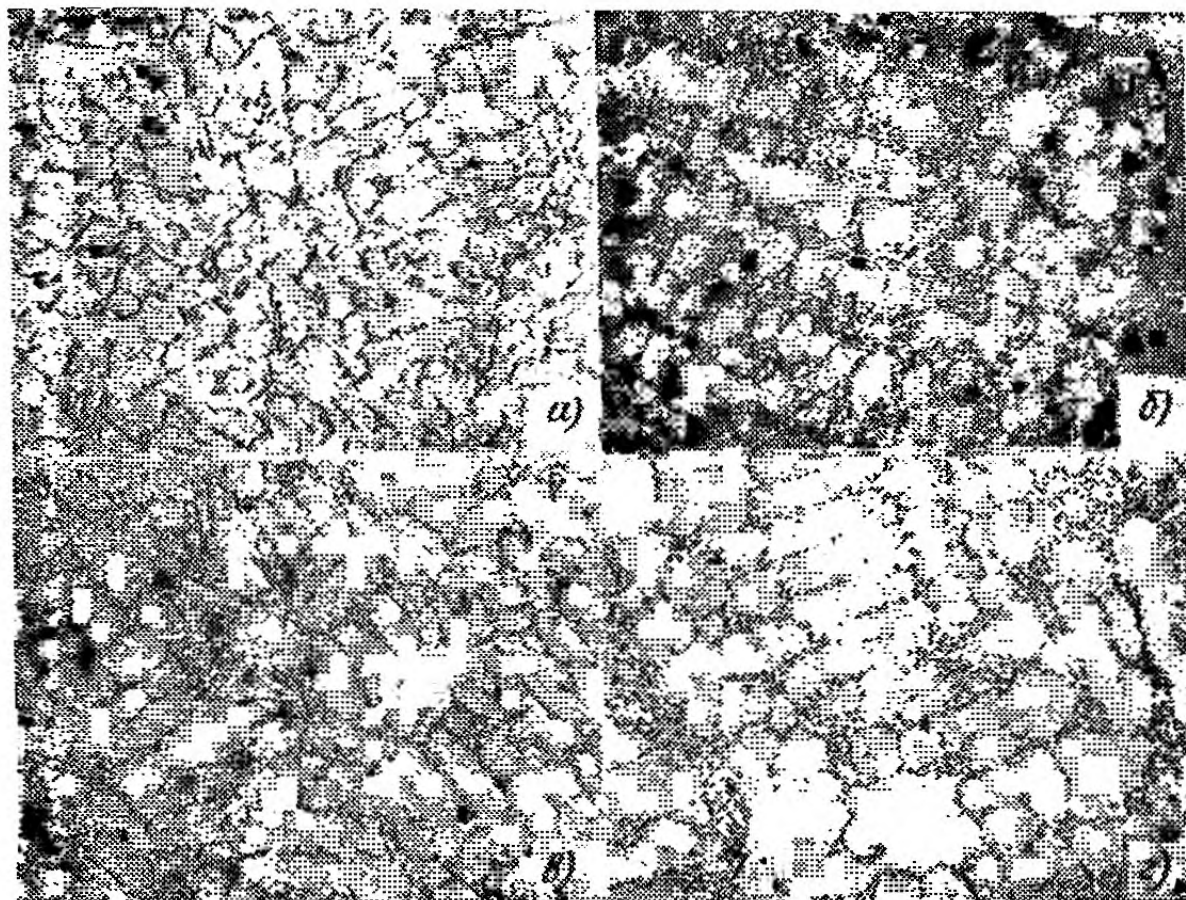


Рис. 1.7. Микроструктура сплава АЛ9 (X100):

а — немодифицированного; б — модифицированного; в — термообработанного; г — с пережогом

Зависимость механических свойств сплава АЛ9 от содержания магния и железа, а также термической обработки приведена в табл. 1.12. Микроструктура сплава АЛ9 с пережогом отличается от других микроструктур наличием укрупненных частичек кремния (рис. 1.7), что характерно для пережога всех сплавов типа силумин.

С помощью оптического микроскопа (увеличение до 800 раз) на микроструктуре сплавов типа АЛ9 очень трудно обнаружить фазу Mg_2Si даже при содержании ее до 1%, тогда как в сплавах типа магналий (АЛ8, АЛ13, АЛ22) при увеличениях в 100 раз можно видеть эту фазу при содержании ее меньше чем 0,3%. Данное явление объясняется тем, что в первом случае фаза Mg_2Si кристаллизуется в чрезвычайно мелкозернистой тонкопластинчатой форме, а в сплавах типа магналий она кристаллизуется в виде эвтектических скоплений, имеющих форму паукообразных разветвлений.

1.12. Влияние Mg и Fe на механические свойства сплава АЛ9 (при 7% Si)

Содержание в %		Сплав					
Mg	Fe	литой			термически обрабатанный		
		$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	δ в %	НВ	$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	δ в %	НВ
0,20	0,63	16	5	48	21	3	98
0,20	0,34	16	6	45	25	7	84
0,20	0,14	15	6	42	27	10	75
0,39	0,66	16	5	55	21	2	102
0,39	0,31	16	6	48	23	5	90
0,39	0,11	15	6	45	26	8	78

Сплавы системы Al—Si—Cu

Из тройной диаграммы состояния сплавов системы Al—Si—Cu (рис. 1.8) следует, что система не имеет тройных соединений, а фазы α , CuAl_2 и Si образуют тройную эвтектику состава 63,50% Al, 31,5% Cu и 5% Si с температурой плавления 525°С, что очень часто встречается в промышленных сплавах (АЛ6, АЛ12). По другим данным, эвтектика содержит 26% Cu, 6,5% Si.

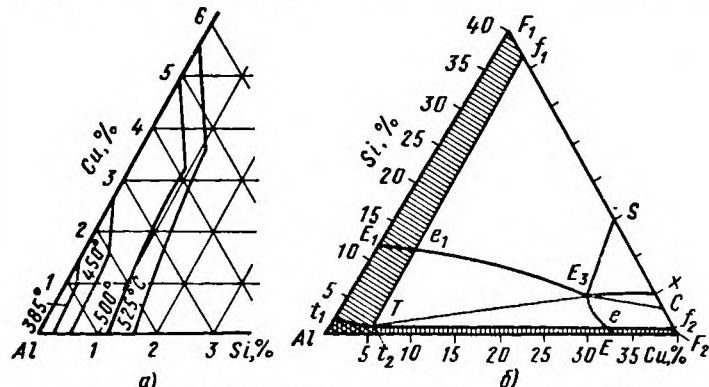


Рис. 1.8. Диаграмма состояния сплавов системы Al—Cu—Si (б) и растворимость Si и Cu в алюминии в твердом состоянии (а)

Сплавы типа силумин независимо от количества прибавляемого кремния сохраняют в α -твердом растворе достаточно много меди (от 4,75 до 5,5%), тогда как содержание кремния в тройном α -твердом растворе колеблется от 0,1 до 1,5% (см. рис. 1.8).

Наиболее типичным представителем тройных сплавов системы Al—Si—Cu является сплав АЛ6, который широко применяют для изготовления приборов и агрегатов. Этот сплав применяется в литом состоянии без термической обработки, так как присутствие большого количества кремния понижает эффект обработки подобных сплавов. В зависимости от методов литья структура сплава АЛ6 может быть мельче или крупнее, но по фазовому составу она не меняется, т. е. зерна

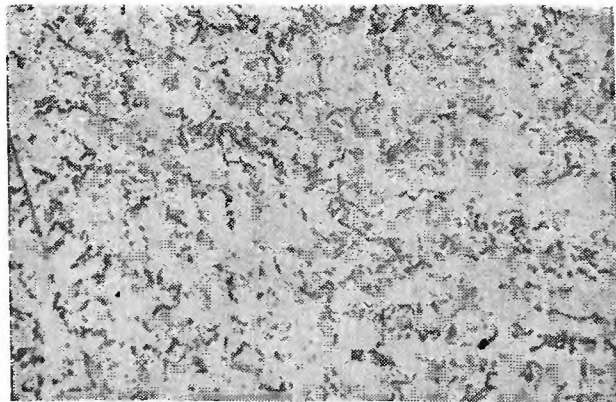


Рис. 1.9. Микроструктура сплава АЛ6 в литом состоянии ($\times 100$)

α -твердого раствора окружены мелкими частичками фазы CuAl_2 и сравнительно крупными частичками кремния (рис. 1.9).

Сплавы системы Al—Si—Mg—Mn

В этой четверной системе исследователями не было обнаружено новых фаз, кроме тех, которые относятся к соответствующим тройным системам. Наиболее типичным четверным сплавом является сплав АЛ4, который отличается от сплава АЛ9 несколько повышенным содержанием кремния и марганцевистой фазой (Al Si Mn Fe). При этом следует отметить, что с повышением содержания железа механические свойства сплава АЛ4 резко снижаются (рис. 1.10).

Сплав АЛ4 имеет сравнительно высокие механические и отличные литейные технологические свойства, поэтому его применяют в двигателестроении для литья самых сложных по конфигурации деталей (картеры, блоки цилиндров и т. д.). Механические свойства сплава могут быть значительно изменены в зависимости от добавок. Однако сплав АЛ4 обладает пониженной жаропрочностью, которую можно повысить введением в сплав присадок меди, марганца и других (табл. 1.13). На рис. 1.11 приведена микроструктура сплава АЛ4.

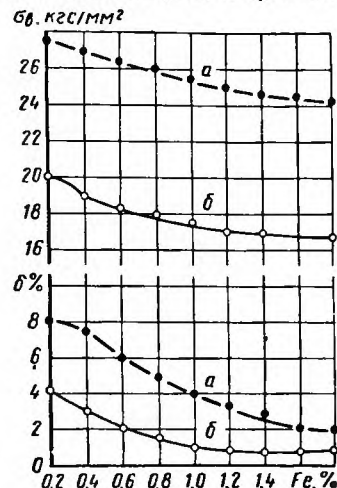


Рис. 1.10. Изменение механических свойств сплава АЛ4 в зависимости от содержания железа:

а — при литье в кокиль; б — при литье в песчаные формы

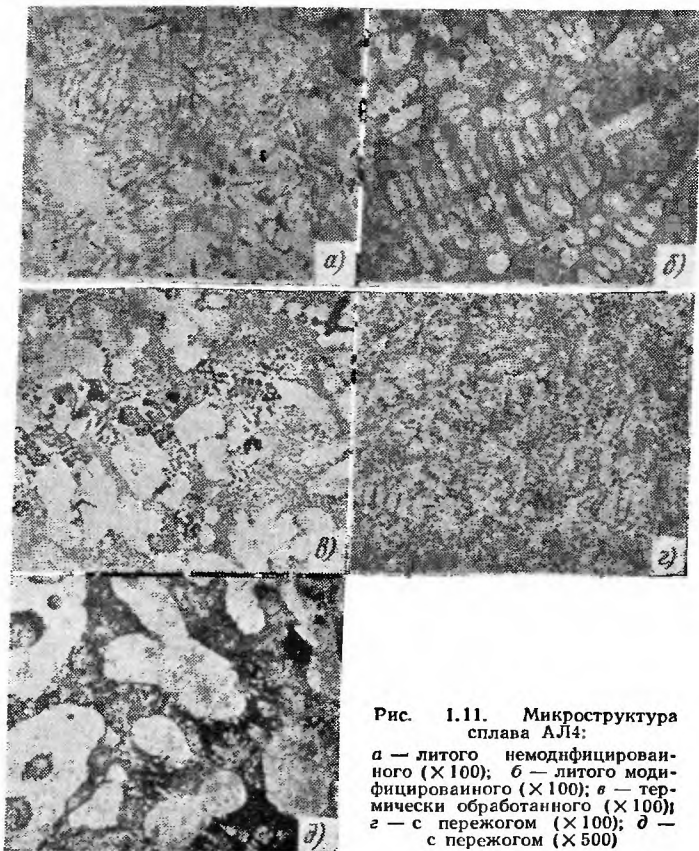


Рис. 1.11. Микроструктура сплава АЛ4:

а — литого немодифицированного ($\times 100$); б — литого модифицированного ($\times 100$); в — термически обработанного ($\times 100$); г — с пережогом ($\times 100$); д — с пережогом ($\times 500$)

1.13. Влияние Mg, Mn, Cu и V на механические свойства сплава АЛ4

Содержание в %				σ_B в кгс/мм ²	δ в %	$\sigma_{0,2}^{100}$ при 300°С в кгс/мм ²
Mg	Mn	Cu	V			
0,25	0,5	—	—	26	6,0	3,0
0,25	0,5	0,5	—	28	5,0	3,25
0,25	0,5	1,0	—	31	4,0	3,5
0,25	1,0	1,5	—	33	3,5	4,0
0,5	1,0	1,5	—	34	3,0	4,0
0,5	1,5	1,5	0,02	33	2,5	4,5

Сплавы системы Al—Si—Mg—Cu

Типичным сплавом четверной системы Al—Si—Mg—Cu является сплав АЛ5, который отличается от всех указанных выше фазовым составом и повышенной жаропрочностью, поэтому его широко используют для литья головок цилиндров двигателей воздушного охлаждения.

По мере повышения содержания меди в сплаве АЛ5 увеличивается его жаропрочность, но пластичность при комнатной температуре заметно падает (табл. 1.14). Поэтому содержание меди в сплаве АЛ5 обычно не превышает 1,5%.

1.14. Влияние Cu на механические свойства сплава АЛ5

Содержание Cu в %	Сплав							
	литой				термически обработанный			
	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	НВ	$\sigma_{0,2}^{100}$ при 300°С в кгс/мм ²	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	НВ	$\sigma_{0,2}^{100}$ при 300°С в кгс/мм ²
1,2	16,2—16,7	1,5—3	52—66	3,5—4,0	23—28	1—2,3	72—80	3,0—3,2
1,5	16,4—18,1	2—3	62—68	3,8—4,5	25—30	1—2	75—88	3,2—3,7
2,0	16,5—18,5	0,75—1,5	62—69	4,5—4,8	25—32	0,5—1,5	78—90	3,5—3,8
2,5	17—19	0,8—1,4	63—70	4,5—4,8	25—32	0,5—1,5	75—90	3,8—4,2

Сплав АЛ5 при комнатной температуре имеет такую же прочность, как и сплав АЛ4. Однако технология литья сплава АЛ5 является менее сложной, не требующей применения специальной операции модифицирования и автоклава для кристаллизации под давлением. Механические свойства сплавов АЛ4 и АЛ5 значительно изменяются в зависимости от температуры после 100 ч стабилизации при этих температурах (табл. 1.15).

1.15. Изменение механических свойств сплавов АЛ4, АЛ5 в зависимости от температуры после 100 часов стабилизации при этих же температурах

t в °С	Сплавы			
	АЛ4		АЛ5	
	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	σ_B в кгс/мм ²	δ в %
200	12,8	5,7	16,7	0,9
300	3,5	21,1	5,3	23,5
400	2,9	53,4	2,9	25,5

Микроструктуры сплава АЛ5 в различных состояниях приведены на рис. 1.12.

С целью рационального использования отходов был разработан сплав АЛ3. Этот сплав имеет большие допуски по химическому составу,

что, в свою очередь, приводит к получению различных фазовых соотношений и, следовательно, к колебанию в широких пределах механических свойств.

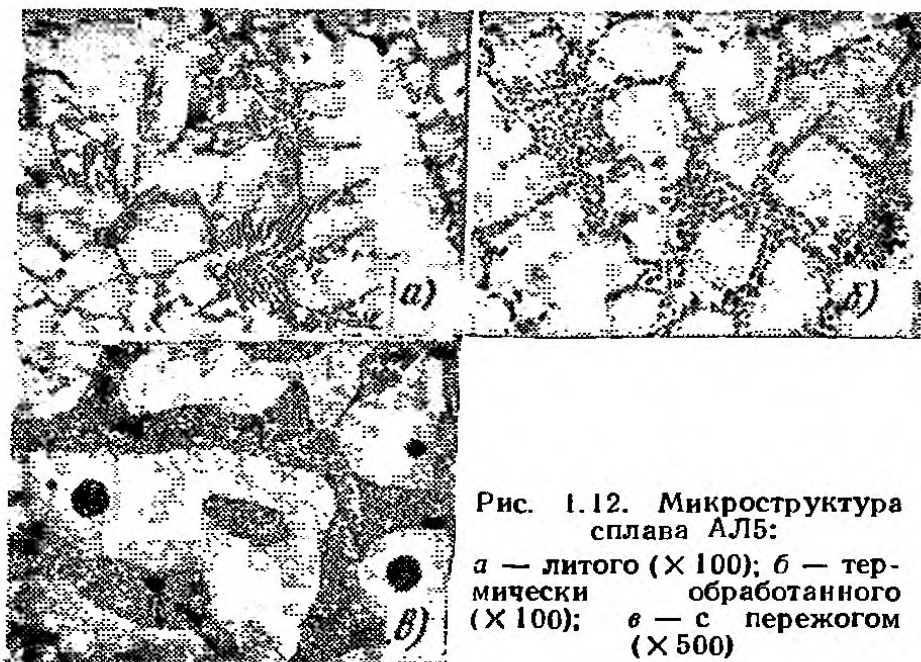


Рис. 1.12. Микроструктура сплава АЛ5:

а — литого ($\times 100$); б — термически обработанного ($\times 100$); в — с пережогом ($\times 500$)

На рис. 1.13 приведены микроструктуры сплава АЛЗ. В отличие от обычного состава сплава АЛЗ можно применять сплав с ограниченными пределами по составу и более определенными механическими и технологическими свойствами, что необходимо учитывать при изготовлении ответственных литых деталей (см. примечание к ГОСТ 2685—63).

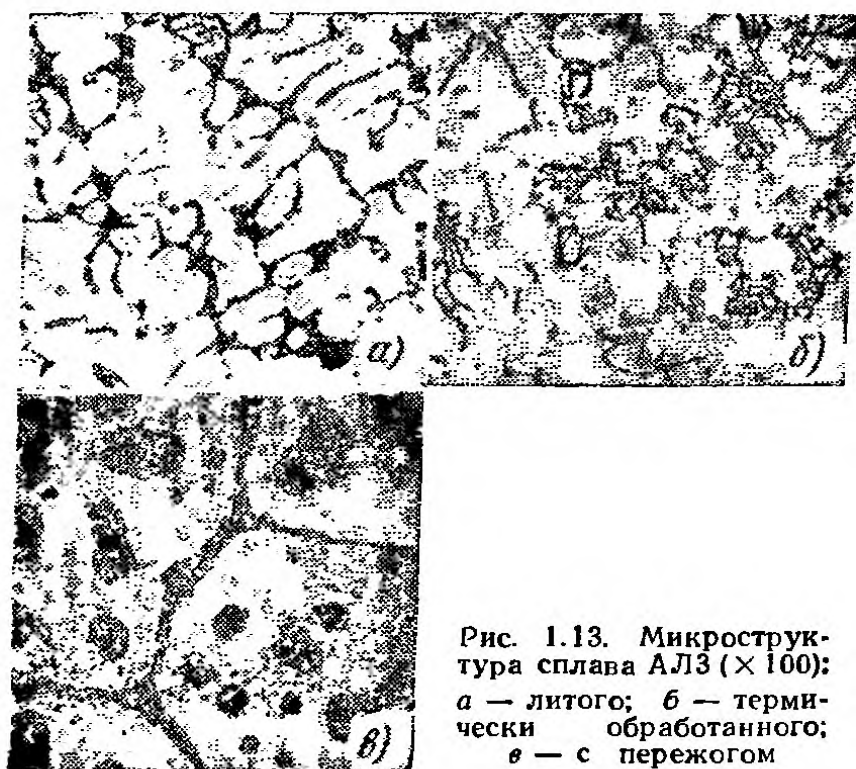


Рис. 1.13. Микроструктура сплава АЛЗ ($\times 100$):

а — литого; б — термически обработанного; в — с пережогом

Сплавы АЛ4М, В124, МВТУ-1 (АЛ32) по химическому составу отличаются от сплава АЛ4 добавками меди, титана, бора, циркония, мишметалла, кадмия, хрома и т. д. За счет достаточного легирования твердого раствора указанные сплавы в отличие от сплава АЛ4 обладают более высокими прочностными свойствами (на 30—50%) и жаропрочностью (на 20—30%). Ускоренный процесс кристаллизации способствует повышению прочности сплавов, поэтому наибольшую прочность сплавы имеют при литье в кокиль.

Сплавы АЛ4М, В124, МВТУ-1 по литейным свойствам, герметичности и обрабатываемости резанием превосходят сплав АЛ4, а по свариваемости не уступают ему.

К недостаткам указанных сплавов следует отнести более сложную по сравнению со сплавом АЛ4 технологию их приготовления, а также ступенчатые режимы закалки крупногабаритных толстостенных отливок.

Алюминиевые сплавы, содержащие более 4% Mg

Сплавы системы Al—Mg

Двойные алюминевомагниеые сплавы обладают малой плотностью, высокими механическими свойствами и отличной коррозионной стойкостью в условиях обычной и морской атмосферы. Хотя эти особенности сплавов были известны еще в конце XIX в., однако широкое распространение в промышленности сплавы получили только во второй четверти XX в. Это объясняется тем, что алюминиевые сплавы с высоким содержанием магния имеют в жидком состоянии большую склонность к окислению.

В настоящее время созданы рациональные методы фасонного литья, что позволило широко внедрить сплавы типа магналий (АЛ8) в судостроительную, авиационную и другие отрасли промышленности.

Алумевомагниеые сплавы являются наиболее высокопрочными из всех алюминиевых литейных сплавов, что обуславливается высокой растворимостью магния в алюминии. До сих пор нет единого мнения о растворимости магния в твердом алюминии (табл. 1.16).

1.16. Растворимость магния в твердом алюминии в % в зависимости от температуры

t в °С	По Курнакову и Михеевой	По Сальдау и Сергееву	По Диксу и Келлеру	По Финку и Вилли	По Шмиду и Зибелю	По Зибелю и Фосколлеру
450	15	14,9	14,9	—	15,35	17,4
400	12	11,8	11,5	—	12,1	13,5
350	—	9,1	8,7	—	9,1	9,8
300	6,5	7,6	6,4	—	6,3	6,7
250	—	6,0	4,9	4,3	4,4	4,6
200	3,0	4,8	4,0	2,9	3,4	3,1
150	2,5	—	—	—	3,0	2,3
100	2,0	—	—	—	—	1,9

Несогласованность в данных различных исследователей объясняется различием шихтовых металлов по чистоте, а также различием точности проведения исследований. Нет также единой точки зрения и по вопросу порядка образования фазы β и ее состава. На рис. 1.14 приведена наиболее достоверная диаграмма состояния сплавов системы Al—Mg, разработанная Н. С. Курнаковым и В. И. Михеевой.

Табл. 1.16 и диаграмма состояния сплавов системы Al—Mg (рис. 1.14) показывают, что твердый раствор алюминия, подвергнутый термической обработке (закалке), может содержать сравнительно большое количество

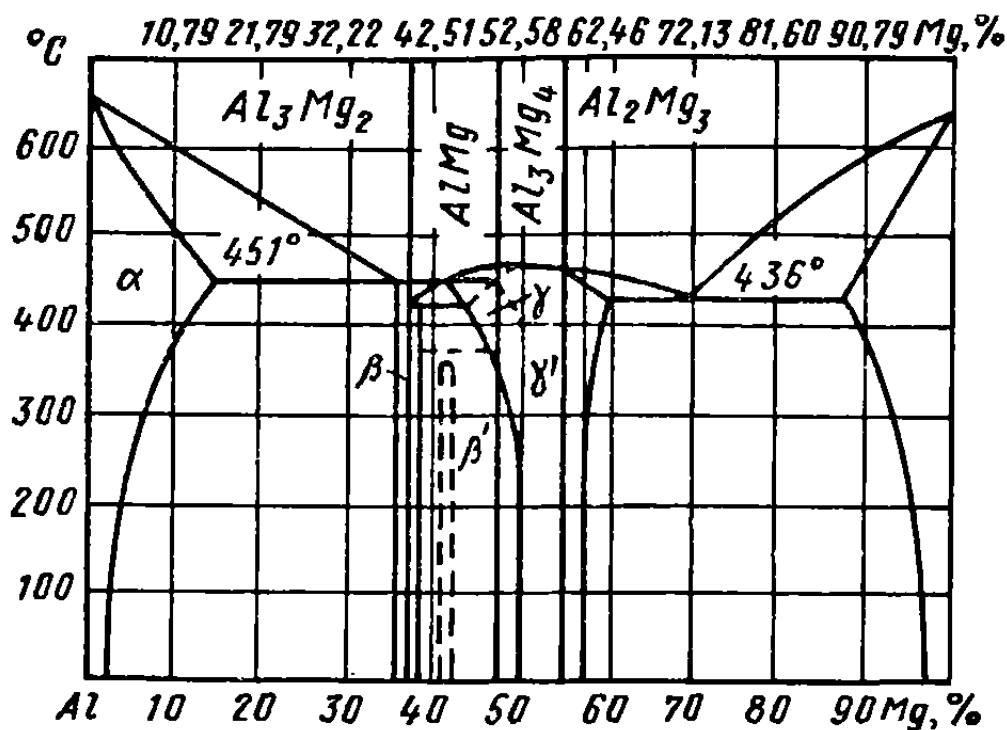


Рис. 1.14. Диаграмма состояния сплавов системы Al—Mg
Н. С. Курнакова и В. И. Михеевой

магния (до 12%), что обеспечивает сплаву типа АЛ8 высокую прочность и превосходную пластичность, однако в литом состоянии эти сплавы являются хрупкими из-за фазы β (Al_3Mg_2).

Для уменьшения газосодержания в отливках и повышения механических свойств к сплаву АЛ8 рекомендуется добавлять 0,3% Zr, который вводят в сплав в виде лигатуры Al + 5% Zr или фторцирконата натрия в удвоенном количестве. Как показали опыты, проведенные под руководством М. В. Шарова, отливки из сплава АЛ8 с цирконием могут иметь высокие механические свойства. Механические свойства сплава АЛ8 могут быть повышены также увеличением содержания до 12% Mg, но в этом случае требуется двухступенчатый режим термической обработки.

В табл. 1.17 приведены механические свойства сплавов Al—Mg в литом и закаленном состоянии, а на рис. 1.15 — микроструктуры некоторых сплавов типа магнилий.

Отливки из сплава АЛ8 можно применять только в закаленном состоянии, так как искусственное старение вызывает резкое охрупчивание сплава АЛ8, а рабочая температура деталей из такого сплава не должна быть выше 60° С. Следует отметить, что сплавы типа магнилий, содержащие меньше 9% Mg, применяют в большинстве случаев в литом

состоянии (без специальной термической обработки), поэтому рабочая температура деталей из таких сплавов может быть повышена до 150° С.

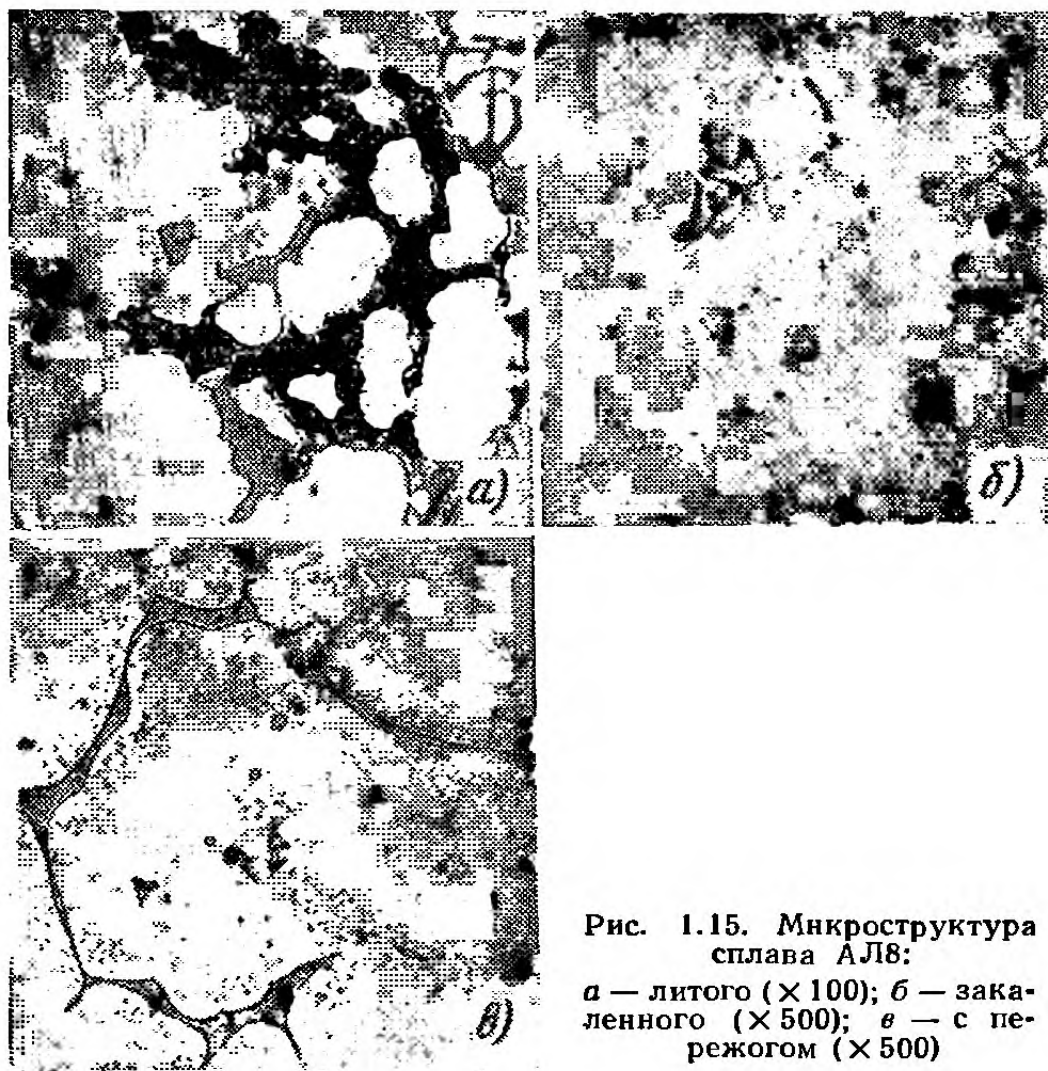


Рис. 1.15. Микроструктура сплава АЛ8:

а — литого ($\times 100$); б — закаленного ($\times 500$); в — с пережогом ($\times 500$)

Изменение механических свойств сплавов типа АЛ8 после старения приведено в табл. 1.18 (данные С. Г. Глазунова и О. Б. Лотаревой), а влияние примесей и добавок на свойства сплавов системы Al—Mg — в табл. 1.19.

1.17. Изменение механических свойств двойных сплавов в зависимости от содержания магния

Содержание Mg в %	Сплав (литье в песчаные формы)					
	литой			закаленный		
	σ_B в кгс/мм ²	δ_B в %	НВ	σ_B в кгс/мм ²	δ_B в %	НВ
5	15—17	5—6	50—55	17—18	6—10	55—60
7	16—18	3—6	60—65	20—22	6—8	65—68
9	17—19	1—3	65—70	20—22	6—10	70—80
11	16—17	0,0—0,5	75—80	30—40	9—25	85—95
13	15—30	0,0—0,3	80—85	27—30	2—9	90—100
14	15—17	0,0—0,3	80—85	23—27	1,5—3	95—105

1.18. Изменение механических свойств закаленного сплава АЛ8 после старения при различных температурах

Температура старения в °С (продолжительность выдержки 5 ч)	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	НВ
20 (выдержка 5 сут.)	32,6	20,4	90,7
100	32,8	19,5	96,1
125	34,8	14,4	90,7
150	30,1	7,6	108
175	23,6	1,4	—
200	21,2	0,0	123
225	19,6	0,0	116
После обычного нагрева под закалку медленное охлаждение вместе с печью.	22,2	1,7	93,6

1.19. Влияние примесей и присадок на свойства сплавов типа АЛ8

Примеси и присадки	Металлические соединения с алюминием	Характерное влияние
Be	—	Восстанавливает алюминий и магний из их оксидов, уменьшает окисляемость жидких сплавов и укрупняет их структуру, снижает пластичность
Cu	CuAl ₂	Вызывает охрупчивание сплавов и ухудшает их коррозионную стойкость, повышает жаропрочность сплавов
Ca	Al ₂ Ca	Способствуют резкому увеличению пористости в отливках, взаимодействуют с влагой формы, футеровки и атмосферы, увеличивают вязкость сплавов
K	—	Олово снижает коррозионную стойкость, а свинец является вредной примесью для пищевой посуды. Олово и свинец как низкоплавкие вещества вредно влияют на эффект термической обработки сплавов
Na	—	Снижают коррозионную стойкость и пластичность сплавов, повышают их жаропрочность
Li	—	Измельчает структуру сплавов и тем самым повышает их пластичность
Sn	—	Измельчает структуру сплавов, дегазирует их, связывая водород в гидриды, повышает механические свойства
Pb	—	Измельчает структуру сплавов и повышает их механические свойства
Fe	Al ₃ Fe	Снижает вредное влияние железа на свойства сплавов и несколько повышает их коррозионную стойкость
Ni	Al ₃ Ni	Понижает коррозионную стойкость сплавов в малом количестве цинк на механические свойства существенно не влияет, а в большом количестве снижает их пластичность, повышая при этом прочность сплавов
Ti	Al ₃ Ti	Увеличивает жидкотекучесть сплавов, но снижает их механические свойства
Zr	Al ₃ Zr	—
B	AlB ₂	—
Mn	Al ₆ Mn	—
Sb	Al ₃ Sb	—
Zn	—	—
Si	—	—

Сплавы системы Al—Mg—Si

На рис. 1.6 была показана степень растворимости фазы Mg₂Si в твердом алюминии при разных температурах. Исследованиями А. А. Бочвара и других установлено, что при избытке кремния в сплавах

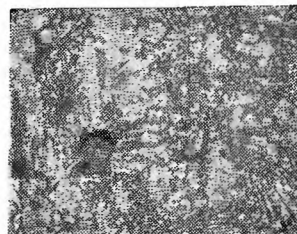


Рис. 1.16. Микроструктура сплава АЛ13 (X100)

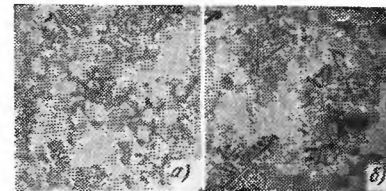


Рис. 1.17. Микроструктура сплава АЛ22 (X100): а — литого; б — закаленного; в — с пережогом

фаза Mg₂Si в пределах до 1,5% (при термической обработке на упрочнение) оказывает упрочняющий эффект, но при избытке магния она упрочняющего эффекта не оказывает, так как в последнем случае упрочнителем является только магний. При этом необходимо учитывать влияние примесей железа и кремния (табл. 1.20).

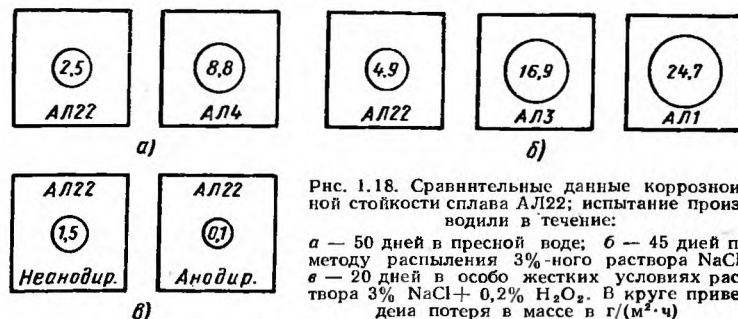


Рис. 1.18. Сравнительные данные коррозионной стойкости сплава АЛ22; испытание производили в течение:

а — 50 дней в пресной воде; б — 45 дней по методу распыления 3%-ного раствора NaCl; в — 20 дней в особо жестких условиях раствора 3% NaCl + 0,2% H₂O₂. В круге приведена потеря в массе в г/(м²·ч)

Сплав АЛ8 является наиболее прочным, однако он уступает сплавам АЛ13 и АЛ22 по всем технологическим свойствам (табл. 1.21). По механическим свойствам сплав АЛ13 значительно уступает сплавам АЛ22 и АЛ8.

На рис. 1.16 приведена микроструктура сплава АЛ13, а на рис. 1.17 — сплава АЛ22.

Сплав АЛ22 имеет такую же коррозионную стойкость (рис. 1.18), как и сплав АЛ8, и превосходит сплав АЛ13 по прочности и литейным свойствам.

Следует отметить, что влияние примесей и присадок, приведенных в табл. 1.19, на свойства тройных сплавов системы Al—Mg—Si примерно такое же, как и влияние их на свойства двойных сплавов системы Al—Mg.

1.20. Изменение механических свойств сплавов системы Al—Mg—Si в зависимости от их состава

Состав сплавов в % (Al — остальное, примесь 0,2% Fe)		σ_B в кгс/мм ²	δ в %
Mg	Si		
5	0,15	19	8
	1,15	20	6
	2,20	17	2
9	0,15	22	10
	0,70	20	6
	1,20	19	5
11	0,15	35	12
	0,70	26	7
	1,70	22	2
13	0,15	40	18
	0,70	35	9
	1,70	22	1,8

1.21. Свойства алюминиевых литейных сплавов типа магналий

Свойства	Сплав		
	АЛ13	АЛ22	АЛ8
Условия ведения плавки ρ в г/см ³	Под флюсом 2,63	Без флюса 2,50	Под флюсом 2,60
Жидкотекучесть при 700° С в мм	500	650	420
Линейная усадка в %	1,3	1,2	1,4
Склонность к образованию трещин по ширине кольца, при котором образуются трещины, в мм	15	12	22,5
Герметичность в ат	118	130	60
σ_B в кгс/мм ²	15—17	23—30	29—35
σ_T в кгс/мм ²	9—11	14—17	15—19
δ в %	1—3	2—6	9—12
<i>HV</i>	55—60	75—90	75—95
<i>E</i> в кгс/мм ²	7000	6900	6800
$\tau_{ср}$ в кгс/мм ²	14—16	20—22	23—25
Предел прочности при кратковременном разрыве в кгс/мм ² при температуре:			
250° С	10—11	15—16	11—12
300° С	7—8	12—3	8—10

Высокопрочные алюминиевые сплавы, содержащие более 3% Cu

При температуре 548° С растворимость меди в твердом алюминии составляет 5,65%, а при комнатной температуре она падает до 0,2% (рис. 1.19). Такое резкое изменение растворимости меди в алюминии позволяет успешно применять сплавы, содержащие до 5% Cu, в термически обработанном состоянии, что обеспечивает максимально высокие механические свойства (табл. 1.22).

Структуры закаленных сплавов с содержанием более 5% Cu имеют хрупкую фазу CuAl₂, следовательно эффект термической обработки их на упрочнение незначителен. Поэтому алюминиевые сплавы, содержащие более 5% Cu, наиболее часто применяют в литом состоянии.

Типичными сплавами системы Al—Cu являются сплавы АЛ7, АЛ19 и В2243 (рис. 1.20—1.22).

Фазовый состав сплава АЛ7 в литом состоянии: α -твердый раствор меди в алюминии + CuAl₂. Так как в сплаве всегда присутствуют железо и кремний как примеси, то в структуре могут быть фазы Al₇Cu₂Fe, CuAl₂, а также тройная эвтектика α + Si + CuAl₂. Сплав обладает достаточно высокими механическими свойствами, хорошо обрабатывается

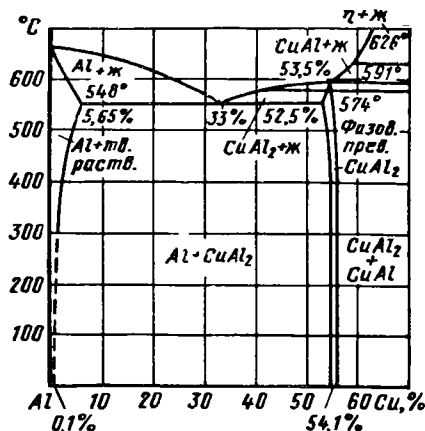


Рис. 1.19. Часть диаграммы состояния сплавов системы Al—Cu

1.22. Влияние Cu на механические свойства алюминиевых сплавов

Содержание Cu в %	Сплав					
	литой			закаленный		
	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	<i>HV</i>	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	<i>HV</i>
3	14—15	4—6	40—50	15—17	4—6	40—50
4	15—16	2—4	45—55	18—21	5—7	50—55
5	17—18	1—4	55—60	24—33	5—8	60—70
6	17—18	2—4	60—55	22—25	3—5	75—80
8	18—20	1—3	65—70	21—24	2—4	75—80
10	18—20	1—2	70—75	20—23	2—3	75—80
12	18—20	1—2	75—80	20—23	2—3	75—80
14	18—20	1—2	75—80	20—23	2—3	75—80

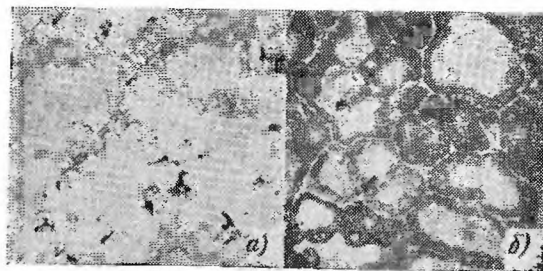


Рис. 1.20. Микроструктура сплава АЛ17 ($\times 500$):
а — литого; б — закаленного

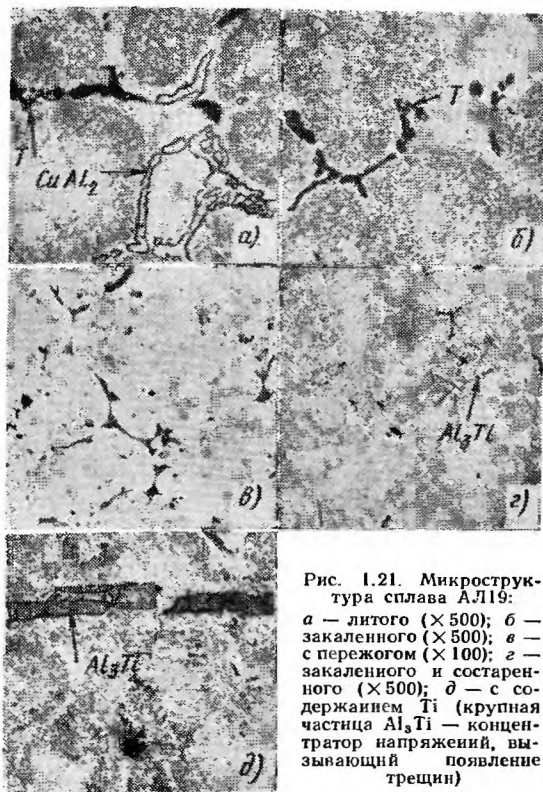


Рис. 1.21. Микроструктура сплава АЛ19:
а — литого ($\times 500$); б — закаленного ($\times 500$); в — с пережогом ($\times 100$); г — закаленного и состаренного ($\times 500$); д — с содержанием Ti (крупная частица Al_3Ti — концентратор напряжений, вызывающий появление трещин)

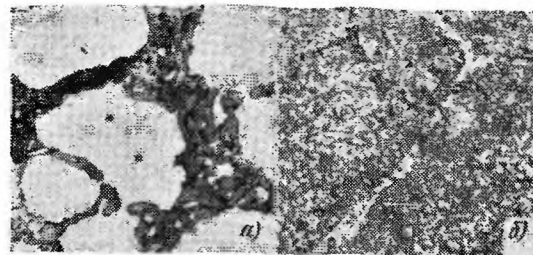


Рис. 1.22. Микроструктура сплава В2243 ($\times 500$):
а — литого; б — закаленного и состаренного

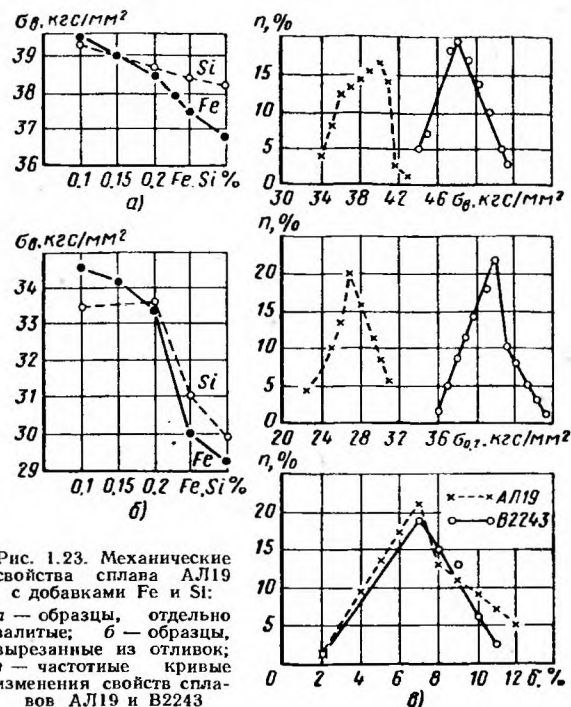


Рис. 1.23. Механические свойства сплава АЛ19 с добавками Fe и Si:
а — образцы, отдельно залитые; б — образцы, вырезанные из отливок; в — частные кривые изменения свойств сплавов АЛ19 и В2243

резанием, удовлетворительно сваривается. К недостаткам сплава относятся низкие литейные свойства, невысокая герметичность и пониженная коррозионная стойкость.

Сплав АЛ19 относится к системе Al—Cu—Mn с добавкой титана. Легирование титаном в количестве до 0,35% способствует повышению прочности сплава АЛ19. Жаропрочность сплава АЛ19 может быть по-

вышена при одновременном легировании церием (0,2%) и цирконием (0,2%). Сплав применяют в термически обработанном состоянии. Наибольшую прочность сплав имеет в закаленном и искусственно состаренном состоянии ($\sigma_B = 36 \div 42$ кгс/мм²). Сплав АЛ19 обладает высокими механическими свойствами при низких температурах, жаропрочностью, хорошими обрабатываемостью резанием и свариваемостью. Несмотря на пониженные литейные свойства и герметичность, сплав применяют для изготовления крупногабаритных деталей массой до 2 т при литье в кокиль, для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях повышенных статических и ударных нагрузок при температуре до 300° С. Особое место занимают сплавы типа В2243 с пределом прочности до 50—55 кгс/мм².

Влияние кремния на механические свойства сплава АЛ17 при нижнем (4%) и верхнем (5%) пределах содержания меди приведено в табл. 1.23, а высокая степень вредного влияния железа и кремния на сплавы АЛ19 и В2243 — в табл. 1.24 и на рис. 1.23, а и б (данные С. Д. Лоханкина и Б. П. Домашникова).

Характерное влияние примесей и присадок на свойства сплавов системы Al—Cu дано в табл. 1.25.

1.23. Влияние Si на механические свойства сплава АЛ17 (0,2% Fe)

Содержание в %		Сплав							
		литой				закаленный			
		σ_B	σ_T	δ	<i>HV</i>	σ_B	σ_T	δ	<i>HV</i>
Cu	Si	в кгс/мм ²		в %		в кгс/мм ²		в %	
4,0	0,2	20	8	5	68	30	17	10	85
4,0	1,2	20	8	3,0	65	27	14	6	80
5,0	0,2	22	9,5	4,5	72	32	18	7	92
5,0	1,2	21	10	4,0	70	25	14,5	4,0	90

1.24. Влияние Si и Fe на механические свойства сплава В2243

Содержание в %		σ_B в кгс/мм ²	δ в %	a_H в кгс·м/см ²
Fe	Si			
0,02	0,01	53	10	2,0
0,07	0,01	51	8	1,8
0,12	0,01	47	7	1,7
0,23	0,01	43	5	1,2
0,36	0,01	36	4	0,9
0,87	0,01	24	3	0,6
0,03	0,05	50	8	2,0
0,03	0,12	47	6	1,8
0,03	0,22	44	4	1,1
0,03	0,36	40	3	0,7
0,03	0,53	38	2	0,6

1.25. Влияние примесей и добавок на свойства сплавов системы Al—Cu

Примеси и добавки	Металлические соединения с алюминием	Характерное влияние
Mg	Al_2CuMg , Al_4Mg_4Cu	<p>Повышает прочность сплавов, но снижает их пластичность</p> <p>Способствуют увеличению пористости, взаимодействуя с влагой формы, футеровки и атмосферы, ухудшают литейные свойства сплавов</p> <p>Железо повышает жаропрочность сплавов, но понижает растворимость меди и марганца, что ухудшает механические свойства при комнатной температуре. Добавка марганца к сплавам типа АЛ7 способствует повышению механических свойств при повышенных и комнатных температурах</p> <p>Значительно улучшает литейные свойства сплавов</p> <p>Измельчает структуру сплавов, тем самым способствует повышению их механических свойств. В отличие от всех других сплавов типа силумин и магналий в сплавы типа АЛ7 титан целесообразно вводить в пределах 0,2—0,35%. В этом случае достигаются наиболее высокие механические свойства</p> <p>Измельчает структуру сплавов и очищает их от газов</p> <p>Способствует повышению механических свойств</p>
Ca	Al_4Ca	
K	—	
Li	—	
Na	—	
Fe	Al_7Cu_2Fe	
Mn	$Al_{12}Mn_2Cu$	
Si	—	
Ti	Al_3Ti	
Zr	Al_3Zr	
Cd	—	

Алюминиевые сплавы, содержащие более 3% Zn и более 1,5% Mg

А. А. Бочвар со своими сотрудниками разработал сплавы (так называемые цинковистые силумины), обладающие способностью самозакаливаться, что обеспечивает повышенную прочность отливок из этих сплавов. Механические свойства сплавов типа цинковистых силуминов в зависимости от способа получения образца приведены в табл. 1.26.

1.26. Механические свойства цинковистого силумина (АЛ11)

Образцы	σ_B в кгс/мм ²	δ_5 в %	НВ
Отдельно залитые в песчаные формы	20—26	1,5—3	70—90
Прилитые к деталям	20—23	2—3	80—100
Вырезанные из отливок, полученных в автоклавах	18—20	1,5—2,5	80—100

К недостаткам двойных сплавов (до 25% Zn) и тройных (до 15% Zn и до 3% Cu) следует отнести широкий интервал кристаллизации, вслед-

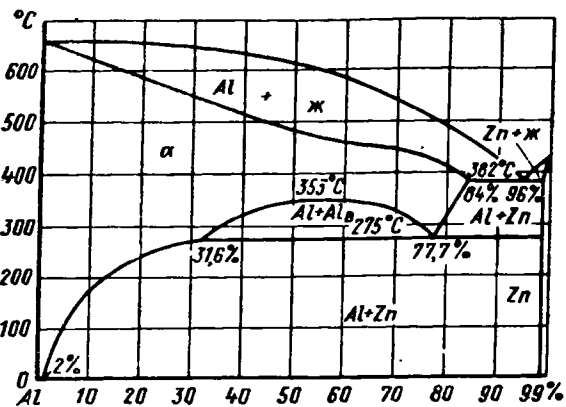


Рис. 1.24. Часть двойной диаграммы состояния сплавов системы Al—Zn

ствие чего сплавы обладают повышенной склонностью к горячим трещинам и пониженной герметичностью. Поэтому такие цинковистые сплавы постепенно вытеснялись сплавами типа силумин.

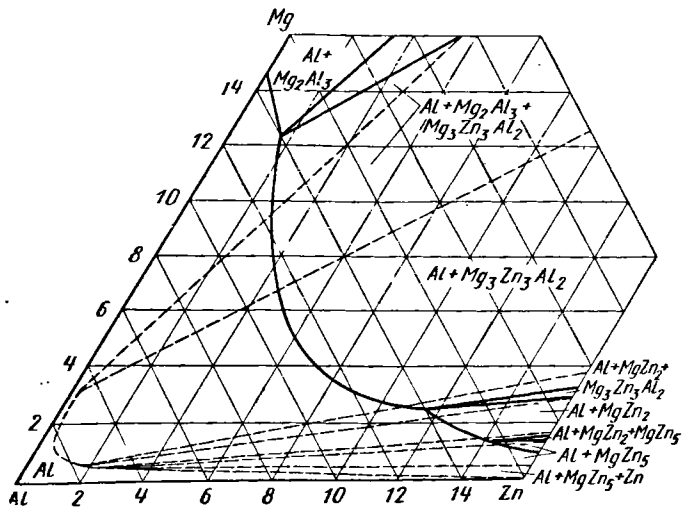


Рис. 1.25. Алюминевой угол тройной диаграммы состояния сплавов системы Al—Mg—Zn

Сейчас разработаны сплавы на базе системы Al—Zn—Mg, которые в деформированном состоянии имеют предел прочности при растяжении выше 60 кгс/мм². Одновременно были разработаны и литейные сплавы, также имеющие сравнительно высокие механические свойства.

На рис. 1.24 представлена двойная диаграмма состояния сплавов системы Al—Zn. Твердый раствор цинка в алюминии может содержать при температурах: 382°С — 84% Zn; 200°С — 12,6% Zn; 150°С — 7% Zn; 100°С — 5% Zn; 20°С — 2% Zn; причем в интервале

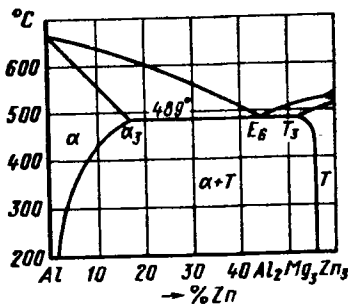


Рис. 1.26. Часть тройной диаграммы состояния сплавов системы Al + T (Al₂Zn₃Mg₃)

температур 275—353°С (между содержанием Zn от 31,6 до 84%) происходит распад однофазного твердого раствора алюминия на два раствора: α и α' с одинаковой кристаллической решеткой.

В этих случаях вместо твердого раствора, богатого цинком, появляется новый твердый раствор, обедненный цинком.

Из рис. 1.25 и 1.26 следует, что в тройном твердом растворе алюминия содержится сравнительно большое количество магния и цинка, чем и обуславливается повышенная прочность сплавов системы Al—Mg—Zn. Однако прочность еще выше с добавками меди, хрома, марганца и циркония.

Наиболее типичным является сплав АЛ24. Механические свойства этого сплава приведены в табл. 1.27.

1.27. Механические свойства сплава АЛ24

Состояние сплава	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	НВ
Литой	17—20	3—10	55—70
Искусственно состаренный без предварительной закалки	18—24	1,5—3	70—85
Закаленный	22—27	2—8	60—100
Закаленный и искусственно состаренный	27—35	2—5	70—110

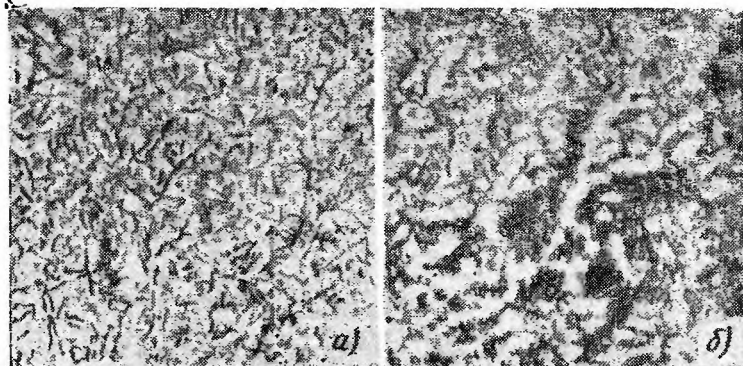


Рис. 1.27. Микроструктура сплава АЛ11 ($\times 100$):
 а — немодифицированного; б — модифицированного

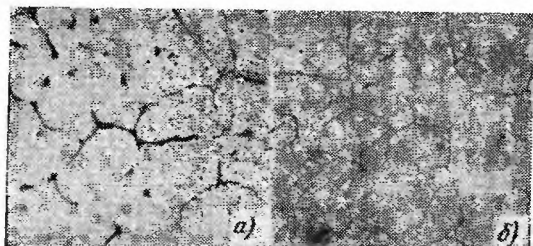


Рис. 1.28. Микроструктура сплава АЛ24 ($\times 100$):
 а — литого; б — закаленного

Основным недостатком сплавов типа цинковистый силумин является повышенная плотность ($2,9\text{--}3,1\text{ г/см}^3$), что ограничивает их распространение.

На рис. 1.27 и 1.28 приведены типичные микроструктуры сплавов АЛ11 и АЛ24.

Сплавы сложных составов для деталей, работающих при повышенных температурах

К этой группе сплавов в основном относятся жаропрочные сплавы, имеющие сложные химические и фазовые составы (табл. 1.28).

В основе распределения сплавов по их жаропрочности лежит следующее: а) степень насыщенности, устойчивости и сложности строения зерен α -твердого раствора;

б) природа и строение вторых фаз.

1.28. Влияние фазового состава на жаропрочность алюминиевых сплавов

Сплав	Типичный фазовый состав сплавов (кроме α -твердого раствора)	α -твердый раствор в закаленном состоянии	Взаимодействие вторых фаз с α -твердым раствором при температуре закалки	Микроструктура сплава	σ_B при 20° С в кгс/мм ²	σ_{100} в кгс/мм ² при температуре в °С	
						250	300
АЛ1	S(Al ₂ MgCu), T (Al ₆ Cu ₃ Ni)	Сумма легирующих элементов (4% Cu + 1,5% Mg в отношении 2,61 : 1) создает устойчивый пересыщенный α -твердый раствор	Фаза S полностью реагирует с α -твердым раствором, тогда как фаза T _{Ni} лишь частично	Гетерогенная, вторые фазы кристаллизуются в виде эвтектических прослоек. Фаза T (Al ₆ Cu ₃ Ni) имеет разветвленную форму, что препятствует деформации зерен α -твердого раствора	23—28	6—8	5—6
АЛ2	Si, Al ₄ Si ₂ Fe	Малоустойчивый обедненный твердый раствор (с содержанием до 1,5% Si)	Частицы кремния быстро сфероидизируются	Модифицированная структура менее жаропрочна, чем немодифицированная	16—18	3,5—4	2,5—3
АЛ3	Si, Mg ₂ Si, W (Al _x Mg ₃ Cu ₄ Si ₄) (при содержании меди на верхнем пределе образуется фаза CuAl ₂); AlSiMnFe	При отношении меди к магнию 2,61 : 1 образование фазы W создает более устойчивый α -твердый раствор	Частицы кремния сфероидизируются, фазы W (Al _x Mg ₃ Cu ₄ Si ₄) и AlSiMnFe изменяются мало, тогда как фазы Mg ₂ Si, CuAl ₂ реагируют полностью	Микроструктура более многофазная, чем в сплаве АЛ15	23—28	5—6	3,5—4

Сплав	Типичный фазовый состав сплавов (кроме α -твердого раствора)	α -твердый раствор в закаленном состоянии	Взаимодействие вторых фаз с α -твердым раствором при температуре закалки	Микроструктура сплава	σ_B при 20° С в кгс/мм ²	σ_{100} в кгс/мм ² при температуре в °С	
						250	300
АЛ4	Si, Mg ₂ Si, Al ₄ Si ₂ Fe	α -твердый раствор недостаточно устойчив	Частицы кремния сфероидизируются; фаза Mg ₂ Si реагирует полностью. Фаза AlSiMnFe является устойчивой	Микроструктура гетерогенная. В немодифицированном состоянии Si кристаллизуется в грубой форме. Марганцовистая фаза повышает жаропрочность сплава	23—27	4—5	2,6—3
АЛ4М	Si, Mg ₂ Si, CuAl ₂ , AlB ₂ , AlSiMnFe, Al ₃ Ti	α -твердый раствор достаточно прочнен	Частицы кремния сфероидизируются. Фазы Mg ₂ Si и CuAl ₂ реагируют полностью. Фазы AlB ₂ , Al ₃ Ti и Al ₄ Si ₂ Fe являются устойчивыми	Микроструктура гетерогенная	30—36	5,5—6	3,2—3,5
ВАЛ5	Si, Mg ₂ Si	α -твердый раствор достаточно прочнен	Частицы кремния сфероидизируются. Фаза Mg ₂ Si полностью реагирует, фаза Al ₃ SiFe устойчива	Микроструктура гетерогенная ² (модифицированная) структура менее жаропрочна, чем немодифицированная	30—36	5—5,5	2,8—3
В124	Si, AlSiMnFe, CuAl ₂ , Mg ₂ Si (или фаза W), Al ₃ Ti, AlB ₂	α -твердый раствор сильно прочнен	Частицы кремния сфероидизированы. Фазы CuAl ₂ и Mg ₂ Si полностью реагируют. Фазы AlSiMnFe, Al ₃ Ti, AlB ₂ устойчивы	Микроструктура более гетерогенная, чем у сплавов АЛ4, АЛ4М, ВАЛ5	40—42 (литье в кокиль) $\sigma_T \geq 35$	5,5—6,5	3,5—3,75

Продолжение табл. 1.28

Сплав	Типичный фазовый состав сплавов (кроме α -твердого раствора)	α -твердый раствор в закаленном состоянии	Взаимодействие вторых фаз с α -твердым раствором при температуре закалки	Микроструктура сплава	σ_B при 20° С в кгс/мм ²	σ_{100} в кгс/мм ² при температуре в °С	
						250	300
АЛ5	Si, CuAl ₂ , Mg ₂ Si, AlSiCuFe	α -твердый раствор легирован больше, чем в сплавах АЛ4	Частицы кремния сфероидизируются, фазы CuAl ₂ , Mg ₂ Si реагируют полностью, фаза AlSiCuFe частично	α -твердый раствор устойчивый. Многофазность обуславливает более высокую жаропрочность сплава, чем у сплава АЛ4	24—30	5—6	3,5—4
АЛ6	Si, CuAl ₂ , Al ₇ Cu ₂ Fe	α -твердый раствор устойчивее, чем у сплава АЛ4	Частицы кремния сфероидизируются; фаза CuAl ₂ реагирует неполностью; фаза Al ₇ Cu ₂ Fe практически не изменяется	Микроструктура гетерогенная. Кроме двойной эвтектики α +Si содержит еще и тройную α +Si+Al ₂ Cu	17—20	4—5,5	2,8—3,2
АЛ7-4	Si, CuAl ₂ , Al ₇ Cu ₂ Fe	α -твердый раствор достаточно устойчив	Фаза CuAl ₂ полностью реагирует. Частицы кремния коагулируют. Фаза Al ₇ Cu ₂ Fe устойчива	Микроструктура гетерогенная	24—28	5—6	3—3,5
АЛ7	CuAl ₂ , Al ₇ Cu ₂ Fe	α -твердый раствор достаточно легирован медью (до 5%) и устойчивее, чем у сплавов АЛ4 и АЛ5	Фаза CuAl ₂ реагирует полностью, фаза Al ₇ Cu ₂ Fe устойчива, частицы Si сфероидизируются	Микроструктура гомогенная. Границы зерна α -твердого раствора укреплены слабо, что понижает жаропрочность сплава	24—30	4,2—5,5	3—3,25

Сплав	Типичный фазовый состав сплавов (кроме α -твердого раствора)	α -твердый раствор в закаленном состоянии	Взаимодействие вторых фаз с α -твердым раствором при температуре закалки	Микроструктура сплава	σ_B при 20° С в кгс/мм ²	σ_{100} в кгс/мм ² при температуре в °С	
						250	300
АЛ8	β (Al_2Mg_2), Mg_2Si , Al_3Fe	Чем выше степень пересыщения α -твердого раствора, тем ниже жаропрочность сплава	Фаза β реагирует полностью, фаза Mg_2Si устойчива	Микроструктура однородная. Границы зерна α -твердого раствора укреплены слабо	30—40	3,0	1,5—2
АЛ9	Si , Mg_2Si , Al_3Si_2Fe	α -твердый раствор недостаточно устойчив	Частицы кремния сфероидизируются. Фаза Mg_2Si реагирует полностью	Микроструктура сильно гетерогенная. Частицы фазы Mg_2Si мелкие, трудно обнаруживаются даже при увеличении в 500 раз	20	4	2,5—3
АЛ13	Mg_2Si , β (Al_2Mg_2), $AlSiMnFe$	α -твердый раствор более устойчив, чем в сплаве АЛ8	Фаза β (Al_2Mg_2) реагирует полностью, а фазы Mg_2Si и $AlSiMnFe$ устойчивы	Микроструктура достаточно гетерогенная	17—27	4—4,5	2,5—3
АЛ19	$CuAl_2$, T ($Al_{12}Mn_2Cu$) Al_3Ti	α -твердый раствор значительно устойчивее, чем в сплаве АЛ17	Фаза $CuAl_2$ реагирует полностью, количество фазы T в закаленном состоянии больше, чем в литом	Микрогетерогенность внутри зерен выражена сильнее, чем в других сплавах	36	12	6,5—7

Сплав	Типичный фазовый состав сплавов (кроме α -твердого раствора)	α -твердый раствор в закаленном состоянии	Взаимодействие вторых фаз с α -твердым раствором при температуре закалки	Микроструктура сплава	σ_B при 20° С в кгс/мм ²	σ_{100} в кгс/мм ² при температуре в °С	
						250	300
АЛ20	S (Al_2CuMg), Al_3Ti , Mg_2Si , l ($Al_3Si_2Mg_2Fe$) или Al_3SiFe и фазы, содержащие Mn и Cr	α -твердый раствор более устойчив, чем в сплавах типа силумин (АЛ12, АЛ3, АЛ4, АЛ5, АЛ9 и др.)	Фазы S (Al_2CuMg) и Mg_2Si реагируют полностью, тогда как другие фазы устойчивы	Микроструктура гетерогенная. Зерна α -твердого раствора блокированы устойчивыми железосодержащими и другими фазами	21—26	7—8	5—6
АЛ21	S (Al_2CuMg), T (Al_2Cu_2Ni), $Al_3(CuNi)_2$ и фазы, содержащие Mn и Cr	α -твердый раствор более устойчив, чем у многих литейных алюминиевых сплавов	Фаза S (Al_2CuMg) полностью реагирует, тогда как остальные фазы практически не реагируют	Микроструктура гетерогенная. Зерна α -твердого раствора почти полностью блокированы устойчивыми фазами	22—30	10—12	7—8
ВАЛ1	Al_3Cu_2Ni , $Al_{12}Mn_2Cu$, Al_3Cu_4Ce , Al_3Zr , Al_3Cu	α -твердый раствор более устойчив, чем у сплава АЛ21	Фаза Al_3Cu полностью реагирует. Остальные фазы не реагируют	Микроструктура гетерогенная. Зерна α -твердого раствора хорошо блокированы частицами устойчивых фаз	26—30	12—14	9—11

Примечания: 1. Во всех сплавах, за исключением сплава АЛ20, железо является примесью.

2. Фаза Mg_2Si в сплавах типа АЛ8 образуется при наличии примеси кремния.

3. Сплавы АЛ13 и АЛ15 при содержании меди и магния на верхнем пределе обладают более высокими показателями.

Чем устойчивее α -твердый раствор и длительнее время существования продуктов его распада в ультрадисперсном состоянии, тем жаропрочнее сплав. Чем устойчивее и прочнее первичные кристаллы вторых фаз при высоких температурах и чем разветвленное их строение, тем в большей мере они блокируют зерна α -твердого раствора и выше их сопротивление деформированию, следовательно, тем жаропрочнее сплавы.

По устойчивости при воздействии температуры и нагрузки вторые фазы делятся на пять групп.

Устойчивость вторых фаз при температуре 300° С характеризуют микротвердостью (табл. 1.29).

1.29. Микротвердость H вторых фаз, образующихся в алюминиевых сплавах, в кгс/мм²

Обозначение фаз	Температура и выдержка под нагрузкой 10 гс					
	20° С		300° С			
	30 с	30 с	30 мин	Снижение H в %	60 мин	Снижение H в %
Первая группа (50—150 кгс/мм ²)						
Al_3Mg_2 или Al_8Mg_5	261	269	109,6	59,3	64,7	76,0
$MgZn_2$	433	380	134,0	64,7	93,7	75,3
$TZn (Al_2Mg_3Zn_3)$	414	400	191,0	52,3	146,0	63,5
$T_{Mg} (Al_6Mg_4Cu)$	422	350	156,5	55,2	117,0	66,5
Вторая группа (150—250 кгс/мм ²)						
Mg_2Si	1536	403	246	40,44	177	56,0
Al_2Cu	531	481	266	44,4	201	58,3
Третья группа (250—310 кгс/мм ²)						
Al_7Cu_2Fe	595	571	287	49,7	259	54,6
$S (Al_2MgCu)$	564	476	310	34,8	253	41,7
$W (Al_xMg_3Si_4Cu_4)$	580	430	314	27,0	262	39,0
Четвертая группа (350—550 кгс/мм ²)						
$\Pi (Al_8Si_6Mg_3Fe)$	585	581	467	18,0	376	34,1
$T_{Mn} (Al_{12}Mn_2Cu)$	628	628	534	126,0	452	26,4
Al_4Mn	835	794	634	20,15	476	40,0
Al_6Mn	—	547	433	20,8	282	48,4
Al_7Cr	520	528	458	13,3	371,2	29,4
Al_3Ni	595	525,5	417	28,7	354	39,5
Al_4Si_2Fe	1097	861	650	24,5	517,2	39,8
Пятая группа (550—800 кгс/мм ²)						
Al_3Fe	987	857	635	25,4	570	39,4
$T_{Ni} (Al_6Cu_3Ni)$	1147	1058	880	15,8	785	25,8
Al_5SiFe	1147	1075	769	28,4	561	47,0
Al_9NiFe	1180	1125	924	17,0	605	46,1

Сопоставление данных табл. 1.28 и 1.29 позволяет судить о зависимости жаропрочности сплавов от их фазового состава и от строения фаз.

Наиболее жаропрочными сплавами являются АЛ1, АЛ20, АЛ21 и ВАЛ1 (табл. 1.28).

Этому способствуют следующие факторы;

а) сравнительно устойчивый α -твердый раствор, в котором находятся медь и магний в соотношениях, отвечающих образованию сложной, медленно формирующейся фазы S (Al_2CuMg);

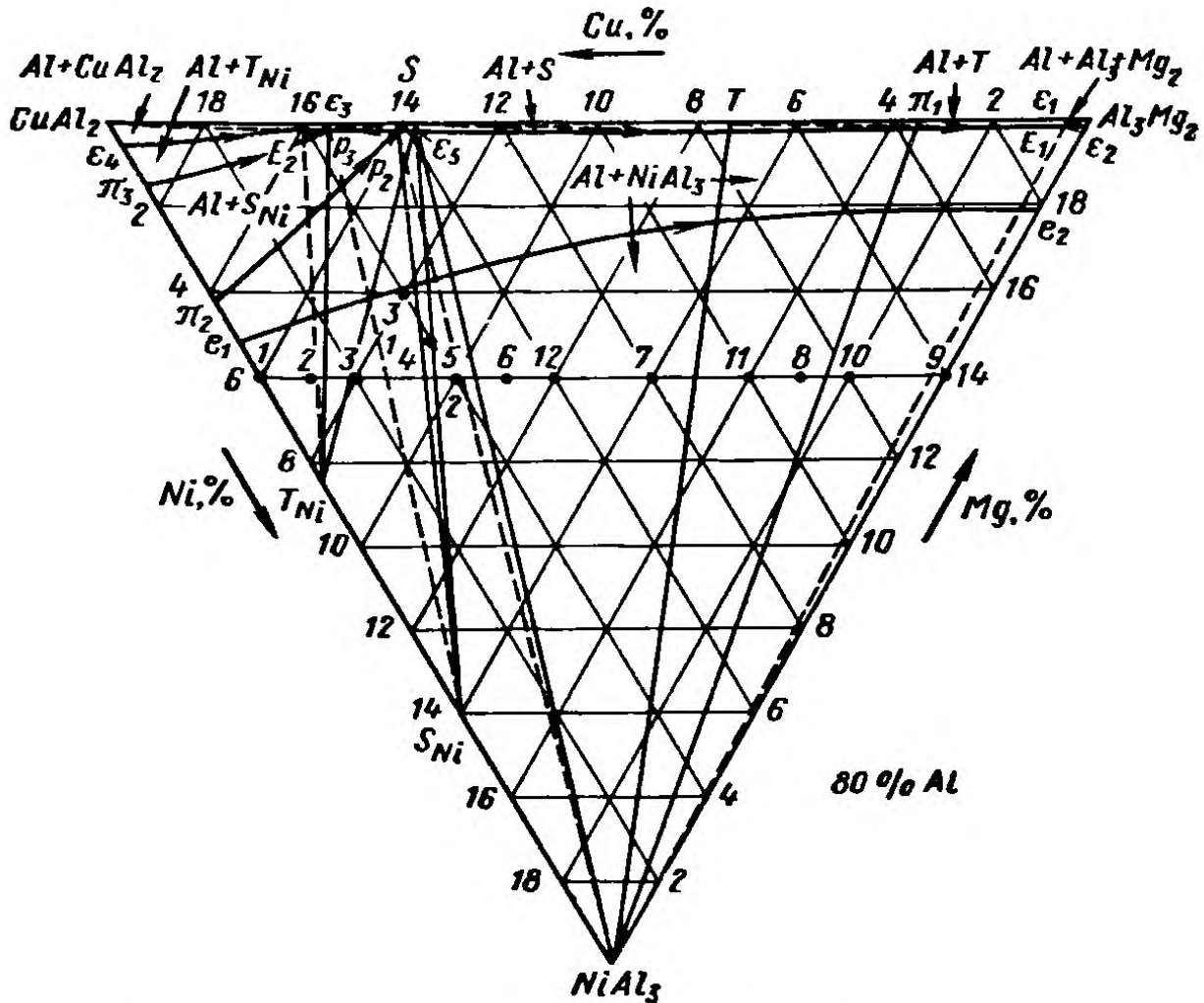


Рис. 1.29. Диаграмма плоскостного разреза тетраэдра Al—Cu—Ni—Mg

б) твердые и устойчивые при температуре 300°C фазы, как S_{Ni} [$\text{Al}_3(\text{CuNi})_2$], T_{Ni} ($\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$), которые обычно кристаллизуются в весьма разветвленных формах и в виде сложных эвтектик, имеющих сравнительно высокие температуры плавления (свыше 540°C);

в) содержание в сплавах малых тугоплавких добавок, способствующих значительному упрочнению пограничных зон зерен α -твердого раствора.

В соответствии с диаграммой плоскостного разреза тетраэдра системы Al—Cu—Mg—Ni (рис. 1.29) Д. А. Петров считает, что сплав АЛ1 по своей концентрации находится в фазовом тетраэдре Al— Al_3Ni —S—T. Следовательно, сплав АЛ1 в зависимости от состояния может иметь

следующие фазовые составы; α , Al_3Ni , T_{Ni} ($\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$) или α , Al_3Ni , T_{Ni} ($\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$) и S (Al_2CuMg). Сплав АЛ21 имеет более сложные химический и фазовый составы и более сложное строение α -твердого раствора. Поэтому его жаропрочность выше, чем у сплава АЛ1.

Растворимость никеля в твердом алюминии близка к нулю; следовательно, никельсодержащие фазы являются сравнительно устойчивыми.

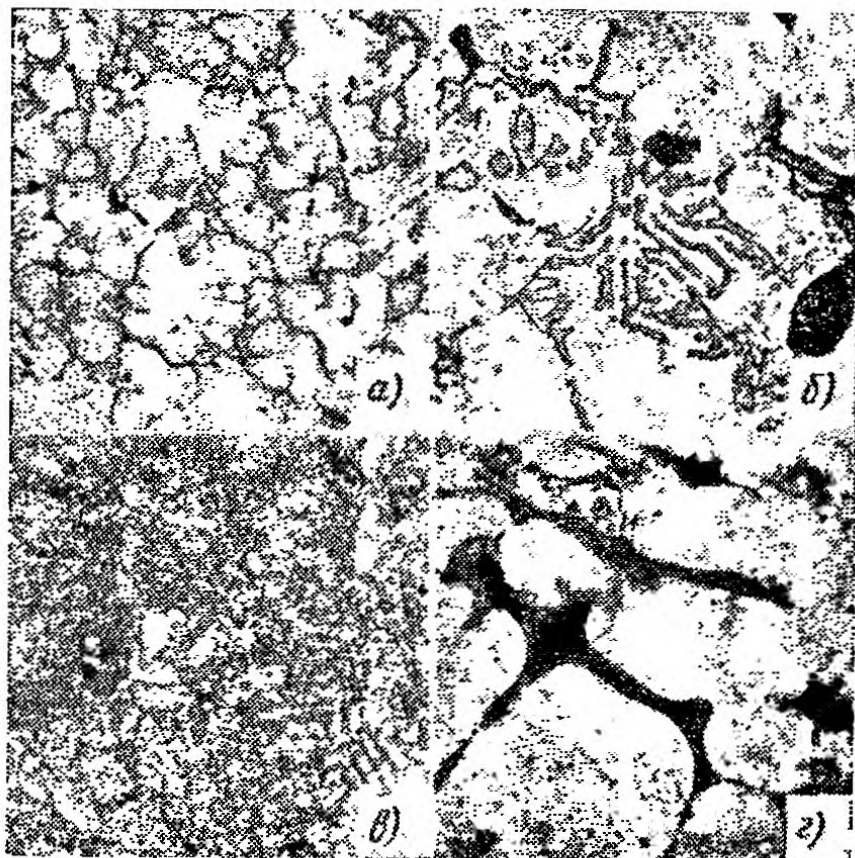


Рис. 1.30. Микроструктура сплава АЛ1 ($\times 100$):
а — литого; б — термически обработанного; в — с пережогом

Упрочнение сплавов АЛ1 и АЛ21 при термической обработке происходит в основном за счет фазы S (Al_2CuMg), т. е. за счет растворения меди и магния в твердом алюминии. При действии повышенных температур и нагрузок эта фаза медленно формируется и длительно сохраняется в дисперсном состоянии, что благоприятно сказывается на повышении жаропрочности сплавов.

Таким образом, соотношение между медью и магнием оказывает решающее влияние на жаропрочность сплавов типа АЛ1, АЛ20 и АЛ21.

На рис. 1.30 приведена микроструктура сплава АЛ1. Несмотря на повышенную жаропрочность сплава АЛ1, его применяют только для поршней, так как он имеет очень низкие литейные свойства.

В табл. 1.30 приведены физические свойства алюминиевых литейных сплавов.

1.30. Физические свойства литейных алюминиевых сплавов

Сплав	Плотность в г/см ³	ρ в Ом·мм ² ·м при 20° С	λ в кал/(см·с·°С) при t в °С		$\alpha \cdot 10^6$ в 1/°С в интервале температур испытаний в °С		c в кал/(г·°С) при $t_{исп}$ в °С	
			25	300	20—100	20—300	100	300
АЛ2	2,65	0,0548	0,42	0,40	21,1	23,3	0,20	0,22
АЛ4	2,65	0,0468	0,35	0,38	21,7	23,5	0,18	0,20
АЛ9	2,66	0,0457	0,36	0,40	23,0	24,5	0,21	0,24
АЛ3	2,7	0,0449	0,39	0,38	22,0	24,0	0,22	0,26
АЛ5	2,68	0,0462	0,38	0,42	33,1	24,0	0,20	0,28
АЛ7	2,8	0,0433	0,37	0,42	23,0	25,0	0,20	0,21
АЛ19	2,78	0,0595	0,25	0,34	19,5	21,9	0,20	0,25
АЛ11	2,94	—	—	—	24,4*	26,6	0,21	—
АЛ24	2,74	—	0,28	—	23,2	25,2	—	—
АЛ8	2,55	0,0912	0,22	0,26	24,5	25,6*	0,25	0,26
АЛ27-1	2,55	0,080	0,207***	0,263*****	24,5	25,6*	—	—
АЛ23	2,55	—	0,297***	—	24,5	—	0,22	—
АЛ23-1	2,55	—	—	0,285*****	—	25,6*	—	—
АЛ13	2,6	0,0643	0,30	0,33	20,0	—	0,23	0,25
АЛ22	2,5	0,103	0,20	0,24	24,5	—	0,22	0,25
АЛ10В	2,78	0,046	0,40	0,42	22,3	24,4	—	—
АЛ25	2,72	0,050	0,38	0,38	19,0	20,5	—	—
АЛ26	2,68	0,056	0,40	0,42	17,5	18,5	—	—
АЛ1	2,75	0,0528	0,31	0,37	22,3	24,4	0,19	0,22
АЛ20	2,74	0,0518	0,31**	0,35	—	—	—	0,23
АЛ21	2,83	0,0572	0,27**	0,32	22,9	—	—	0,21
ВАЛ1	2,89	0,0545	0,32	0,37	23,8	—	—	—
АЦР-1	2,8	0,053	0,23	0,27	23,6	—	—	—

- * Интервал 20—200° С.
 ** 30° С.
 *** 100° С.
 **** 200° С.
 ***** 400° С.

3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Условия испытания сплавов должны совпадать с условиями их работы.

Для оценки конструктивной прочности алюминиевых литейных сплавов при комнатной и низких температурах следует определять: 1) прочность и пластичность при статическом нагружении и 2) прочность при вибрационных нагрузках.

Для оценки прочности и пластичности существенное значение имеет отбор образцов для механических испытаний. Образцы следует отбирать так, чтобы их свойства отображали в целом свойства данного полуфабриката или детали. Более правильным методом является вырезка образцов из опасных мест деталей.

Этот метод используют при периодическом контроле технологии серийного производства и в период освоения технологии литья новых ответственных деталей. С этой целью определенное число деталей

разрезают и всесторонне исследуют (испытание вырезанных образцов на механические свойства, изготовление макро- и микрошлифов и изломов). Число контролируемых деталей зависит от масштаба производства и назначения деталей. Качество литых деталей проверяют и методом статического испытания на соответствующих стендах.

Для определения механических свойств алюминиевых сплавов используют образцы (рис. 1.31), которые получают в песчаных формах.

Качество отливок периодически контролируют по образцам, вырезанным из брусков, прилитых к отливкам. Форма бруска определяется размерами гагаринского образца.

Предел прочности при растяжении и относительное удлинение определяют по ГОСТ 1497—73*. Форма и размеры отдельно отлитых или

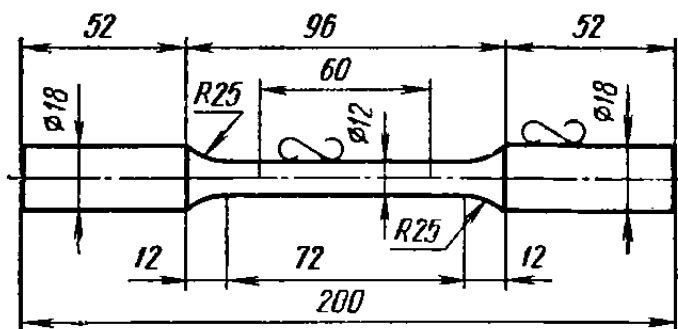


Рис. 1.31. Стандартный образец для определения механических свойств

прилитых образцов, полученных в песчаных формах или в кокиле, должны соответствовать чертежу. Образец испытывается с литейной коркой.

По ГОСТ 2685—63 способ литья и термическая обработка образцов для испытания механических свойств сплавов должны соответствовать способам литья и термической обработке, установленным для отливок из этих сплавов (табл. 1.31).

Нормы механических свойств отливок, изготовленных под давлением, а также форма, размеры и способ изготовления образцов для испытаний устанавливаются ведомственными техническими условиями.

Наиболее ответственные детали контролируют методом определения твердости без разрушения при диаметре шарика 10 мм и нагрузке 1000 кгс. В этом случае места контроля твердости оговариваются в чертежах деталей. Заводской опыт показывает, что средние значения механических свойств при испытании образцов, вырезанных из деталей, составляют 75% величины предела прочности и 50% относительного удлинения отдельно отлитых образцов.

В табл. 1.32 и 1.33 приведены механические свойства алюминиевых литейных сплавов, полученные при испытании отдельно отлитых образцов при различных видах термической обработки и температурах.

Большое значение имеет длительность хранения дорогостоящих изделий, в состав которых входят детали из литейных алюминиевых сплавов. Структура и механические свойства сплавов не должны существенно изменяться во времени и под воздействием внутренних напряжений, возникающих в процессе термической обработки.

* С 1 января 1975 г. вводится ГОСТ 1497—73

1.31. Минимальные механические свойства литейных алюминиевых сплавов (ГОСТ 2685—63)

Группа сплавов	Сплавы	Способ литья	Вид термической обработки	σ_B	δ в %	НВ
				в кгс/мм ²	не менее	
I	АЛ8	З, О, В, К	Т4	29	9	60
	АЛ27	З, О, К, Д		32	12	75
	АЛ27-1			35	15	
	АЛ13	З, О, В, К	—	15	1	55
		Д	—	17	0,5	
	АЛ22	З, О, В, К	—	18	1	90
			Т4	23	1,5	
		Д	—	20	1	
	АЛ23	З, О	—	19	4	60
		К, Д	—	22	6	
		З, О, К	Т4	23	6	
	АЛ23-1	З, О	—	20	5	
		К, Д	—	24	10	
		З, О, К	Т4	25		
	АЛ28	З, О, В	—	20	4	55
		К			5	
Д		21		3,5	60	
АЛ29	Д	—	3			
II	АЛ2	З, О, В, К	—	15	4	50
		К		16	2	
		Д			1	

Продолжение табл. 1.31

Группа сплавов	Сплавы	Способ литья	Вид термической обработки	σ_B	δ в %	НВ	
				в кгс/мм ²			
не менее							
II	АЛ12	З, О, В, К	Т2	14	4	50	
				К	3		
		Д	15	2			
	АЛ14	З, О, В, К, Д	—	—	2	70	
					К, Д		Т1
		З, О, В	Т6	23	3		
				К			24
	АЛ19	З, О, В, К	—	—	16	2	50
					Д	17	
		З, О, В, К, Д	Т2	—	14	2	45
		З, О, В	Т5	—	18	2	60
					К		
		З, О, В	Т6	—	20	1	70
					К		
З, О, В		Т7	—	20	2	60	
				Т8	16	3	55
III	АЛ17	З, О, В	Т4	20	6	60	
				К			21
		З, О, В	Т5	22	3	70	
				К			23

Продолжение табл. 1.31

Группа сплавов	Сплавы	Способ литья	Вид термической обработки	σ_B	δ в %	НВ		
				в кгс/мм ²				
не менее								
III	АЛ19	З, О, В	Т4	30	8	70		
			Т5	34	4	90		
IV	АЛ13	К	—	—	17	0,5	65	
					З, О, В			14
		З, О, В, К	Т1	17	—	70		
			Т2	15	1	65		
		З, О, В	Т5	—	22	0,5	75	
					К			25
		З, О, В, К	Т7	21	1	70		
			Т8	18	2	65		
		Д	—	—	16		0,5	
					З, О, В, К	Т1		16
		АЛ15	З, О, В	—	Т5	20	70	
					Т6	23		
					Т7	18		65
		АЛ16	З, О, В, К	—	Т2	15	1	
					Д			—

Продолжение табл. 1.31

Группа сплавов	Сплавы	Способ литья	Вид термической обработки	σ_B	δ в %	НВ
				в кгс/мм ²		
				не менее		
V	АЛ1	З, О, В, К	Т7	21	1	95
				18		80
	АЛ11	З, О, В	—	20	2	90
				К	25	
		Д	18	1	60	
	АЛ20	З, О, В, К	Т5	25	1	65
			Т7	21		
	АЛ21	З, О, В	Т2	18	1	75
			Т7	21		
	АЛ24	З, О, В	—	22	2	60
			Т5	27		70
	АЛ25	К	Т1	19	—	90
	АЛ26		Т2	16		
	АЛ30		Т1	20		

1.32. Типичные механические свойства литейных алюминиевых сплавов в зависимости от термической обработки при комнатной и повышенной температуре

Сплав	Вид термической обработки	При 20° С				σ_{-1} в кгс/мм ²	$\sigma_{НВ}$ в кгс.м/см ²	σ_{100} в кгс/мм ² при температурах в °С			$\sigma_{0,2/100}$ в кгс/мм ² при 300° С
		σ_B	$\sigma_{0,2}$	HB	δ в %			200	250	300	
		в кгс/мм ²									
АЛ2	T2	18	9,0	50	5	4,2	0,5	7	4	$\frac{2,8^*}{2,5}$	1,2
АЛ4	T1	18	14	65	2	—	—	—	—	—	—
	T5	22	17	70	4	—	—	—	—	—	—
	T6	26	20	75	4	7,5	0,4	8	5	$\frac{2,8^*}{2,5}$	1,25
АЛ9	T4	20	14	50	5	4,5	0,5	—	—	—	—
	T5	22	16	75	3	—	—	6	4,5	2,5	1,2
ВАЛ5	T5	32	28	90	3	—	—	—	—	—	—
АЛ3	T1	20	17	70	1	—	—	—	—	—	—
	T2	18	14	65	1,5	—	—	—	—	—	—
	T5	24	18	75	0,8	—	—	9	6	3,75	2,5
	T6	27	21	85	0,8	6,0	0,3	—	—	—	—
	T7	21	—	70	1,0	—	—	—	—	—	—
АЛ5	T1	18	15	65	—	—	—	—	—	—	—
	T5	26	20	80	1	6,5	0,3	9	5,5	3,5	2,4
	T7	20	—	70	1,5	—	—	—	—	—	—
АЛ6	T2	17	11	55	2	5	—	—	—	—	—
АЛ8		35	17	80	10	6	1	6	4	1,5	1
АЛ27	T4	36	18	90	18	6 **	1,5	—	—	—	—
АЛ27-1		38	19	90	20	7 **	3,0	—	—	—	—
АЛ23		25	14	75	10	—	1,5	—	—	—	—
АЛ23-1		26	14	80	12	—	2,0	—	—	—	—

* В числителе приведены значения σ_{100} сплава в немодифицированном состоянии, в знаменателе — в модифицированном.

** Испытаны на базе 20×10^7 циклов при переменном изгибе.

Сплав	Вид термической обработки	При 20° С				σ_{-1} в кгс/мм ²	$\delta_{НВ}$ в кгс·м/см ²	σ_{100} в кгс/мм ² при температурах в °С			$\sigma_{0,2/100}$ в кгс/мм ² при 300°С
		σ_B	$\sigma_{0,2}$	$НВ$	δ в %			200	250	300	
		в кгс/мм ²									
АЛ13	T2	17	11	65	3	—	—	—	—	—	—
АЛ22	T4	26	18	90	4	—	0,2	9	5	2,0	—
АЛ7	T4	24	16	65	7	4,0	—	10	6	3,0	—
	T5	26	20	85	3	4,5	—	—	—	—	—
АЛ19	T4	32	18	80	9	7,0	1,0	16	12	6,5	—
	T5	36	25	100	5	—	0,8	—	—	—	4,0
АЛ11 АЛ24	T2	22	15	80	2	—	—	—	—	—	—
	T5	29	18	75	3	6,5	—	8	4	—	—
АЛ10В АЛ25 АЛ26 АЛ30	T6	28	22	100	—	5,0	0,2	—	—	—	—
	T1	20	16	100	—	—	0,4	10	8,5	4,5	—
	T2	21	17	100	0,4	9,0	0,3	12	10	5,5	—
	T1	21	—	100	0,5	—	—	10	8	4,0	—
АЛ1	T5	26	20	110	0,6	5,6	0,3	13	7	5,5	3,7
	T7	22	18	90	1,2	—	—	—	—	—	—
АЛ20	T6	30	23	80	—	—	—	—	—	—	—
	T7	23	18	65	0,8	7,5	0,3	14	9	5,5	4,0
АЛ21	T2	21	—	65	1,2	—	—	—	—	—	—
	T6	30	25	80	0,7	—	—	—	—	—	—
	T7	22	20	70	1,5	—	0,3	—	12	7,0—8,0	5,0
ВАЛ1 АЦР1 АЛЧМ	T5	30	25	100	2,5	7,5	0,5	18	15	10,0	6,0
	T1	20	16	75	1,5	7,0	0,3	17	15	10,0	6,0
	T6	36	30	100	3,5	9,0	—	10	5,5	3,25	—

1.33. Механические свойства некоторых алюминиевых сплавов при различных температурах

Сплав	Вид термической обработки	Способ литья	t в °C	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ в %
				в кгс/мм ²		
АЛ2	Т2	Д	-196	36,5	16,2	1,5
			-80	31,5	15,0	2,0
			-28	31,0	15,0	2,0
			24	30,0	15,0	2,5
			100	26,0	14,0	5,0
			149	22,5	13,5	8,0
			204	17,0	10,5	15,0
			260	9,0	6,3	30
			316	4,9	3,2	35
			371	3,2	1,7	40
АЛ4М	Т6	К	-196	48,0	34,5	6,0
			-80	41,5	30,0	6,0
			-28	40,0	29,5	6,0
			24	38,5	29,0	6,0
			100	35,0	29,0	6,0
			149	28,5	24,5	7,0
			204	11,3	7,7	43
АЛ5	Т5	К	-196	26,0	19,0	1,0
			-80	24,5	17,5	1,5
			-28	22,0	17,0	1,5
			24	21,0	17,0	2,0
			100	20,0	17,0	3,0
			149	16,2	14,0	4,0
			204	10,5	7,0	19
			260	6,7	3,5	33
			316	4,2	2,1	38
			371	2,5	1,4	60
АЛ5	Т5	З	-196	23,0	19,0	1,5
			-80	20,5	17,0	1,5
			-28	20,0	16,2	1,5
			24	20,0	16,2	1,5
			100	20,0	15,5	2
			149	17,0	13,5	3
			204	9,8	7,0	8
			260	6,5	3,5	16
			316	4,2	2,1	36
			371	2,5	1,4	50
АЛ5	Т7	К	-196	32,5	26,5	1,5
			-80	27,5	24,0	2,0
			-28	26,5	23,0	2,5
			24,5	25,5	22,0	3
			100	23,0	20,5	4
			149	20,5	18,5	8
			204	13,4	9,1	20
			260	6,5	3,5	40
			316	4,2	2,1	50
			371	2,5	1,4	60

Продолжение табл. 1.33

Сплав	Вид термической обработки	Способ литья	t в °С	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ в %
				в кгс/мм ²		
АЛ5	Т7	З	-196	29,0	24,0	1,5
			-80	26,0	22,5	1,5
			-28	25,5	22,0	1,5
			24	24,5	20,5	1,5
			100	24,0	20,0	2
			149	21,0	18,5	3
			204	12,0	9,0	8
			260	6,5	3,5	16
			316	4,2	2,1	36
			371	2,5	1,4	50
			АЛ9	Т5	З	-196
-80	24,5	17,5				3,5
-28	23,0	17,0				3,5
24	23,0	17,0				3,5
100	22,5	17,0				4,0
149	16,0	14,0				6,0
204	8,4	6,0				18
260	5,5	3,5				35
316	2,8	2,1				60
371	1,7	1,4				80
АЛ19	Т5	К				-196
			-80	28,0	20,0	5
			-28	27,5	19,0	5
			24	26,5	19,0	5
			100	21,0	17,5	6
			149	14,8	12,0	10
			204	8,5	6,0	30
			260	5,3	3,5	55
			316	2,8	2,1	70
			371	1,7	1,4	80
			В124	Т2	Д	-196
-80	34,5	17,0				2,5
-28	34,5	17,0				3,0
24	34,0	17,0				3,0
100	31,6	17,0				4,0
149	24,0	15,5				5,0
204	17,0	11,3				8,0
260	9,0	5,6				20
315	5,0	2,8				30
371	2,8	1,7				35
АЛ19	Т5	К				-196
			-80	41,5	36,0	6,0
			-28	37,0	28,0	8,0
			24	36,5	28,0	8,0
			100	35,5	21,0	9,0
			149	32,0	18,5	9,5
			204	27,0	16,0	11,0
			260	23,0	15,0	14,0
			315	18,1	14,6	19,6
			371			

Продолжение табл. 1.33

Сплав	Вид термической обработки	Способ литья	t в °С	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ в %
				в кгс/мм ²		
В2243	Т5	К	-196	62,0	51,0	6,0
			-80	52,0	41,0	9,0
			-28	51,5	40,5	9,5
			24	49,0	39,0	10,0
			100	49,0	38,0	9,0
			149	46,0	35,0	9,5
			204	36,0	27,0	15,0
			260	26,0	21,0	17,0
			315	22,0	17,0	20,0
			371			

На рис. 1.32 даны механические свойства образцов, вырезанных из отливок (сплавы АЛ4, АЛ5, АЛ9, АЛ19, В2243) после 12 лет их хранения. По данным рис. 1.32, практически не изменяются предел

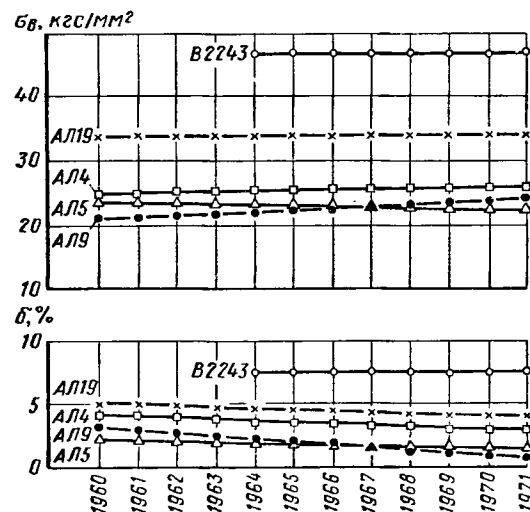


Рис. 1.32. Зависимость механических свойств отливок от продолжительности их хранения

прочности и относительное удлинение отливок из сплава В2243, несколько уменьшается относительное удлинение отливок из сплава АЛ19. Микроструктура всех сплавов почти остается без изменений. Изменение предела прочности и относительного удлинения сплавов АЛ4 и АЛ9 значительно больше, чем сплава АЛ5.

Механические свойства алюминиевых сплавов при повышенных температурах

Для оценки сплавов в условиях работы при высоких температурах нельзя ограничиваться обычными испытаниями на растяжение, а необходимо еще проводить испытания, которые давали бы возможность оценить изменение прочности во времени. К таким испытаниям относятся испытания на длительную прочность.

В табл. 1.28 были приведены значения длительной прочности алюминиевых сплавов при повышенных температурах.

Влияние кратковременной выдержки при повышенных температурах испытаний на механические свойства алюминиевых сплавов. Литые детали из алюминиевых сплавов широко применяют в конструкциях разного назначения, претерпевающих воздействие высоких температур и напряжений. Для таких условий работы требуются не столько жаропрочные сплавы, сколько сплавы с высокой исходной прочностью, так как литые детали можно кратковременно нагревать до высоких температур без существенных изменений их свойств.

Были испытаны на разрыв при температурах 100, 200, 300, 400° С сплавы трех групп; а) эвтектического состава (АЛ4, ВАЛ5), упрочняемые при термической обработке только магнием (такие сплавы имеют среднюю прочность и пониженную жаропрочность); б) эвтектического типа (АЛ4М, В124), легированные магнием и медью, поэтому они имеют повышенную прочность и жаропрочность; в) сплавы типа твердого раствора (АЛ19, В2243), содержащие переходные металлы, которые усиливают межатомную связь и понижают степень разупрочнения сплавов.

Испытание сплавов при температурах 100, 200, 300, 400° С проводили по трем методикам. Образцы диаметром 10 мм получали в формах, типичных для серийного производства деталей из этих сплавов. Образцы испытывали в термически обработанном состоянии Т5 или Т6. Режимы термической обработки приведены в табл. 1.34.

1.34. Режимы термической обработки исследуемых сплавов

Сплав	Вид термической обработки	Закалка (охлаждающая среда—вода при 20° С)		Старение (охлаждающая среда—воздух)	
		Нагрев до температуры в °С	Выдержка в ч	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч
АЛ4	Т5	535 ±5	5	175 ±5	12
АЛ4М	Т5	Ступенчатый			
		515 ±5	4	160 ±5	12
		525 ±5	8		
ВАЛ5	Т5	535 ±5	13	175 ±5	6
В124	Т6	Ступенчатый			
		495 ±5	10	160 ±5	24
		515 ±5	10		
АЛ19	Т5	Ступенчатый			
		530 ±5	7	175 ±5	4
		545 ±5	7		
В2243	Т6	Ступенчатый			
		530 ±5	7	170 ±5	8
		540 ±5	7		

Сравнение секундной прочности с кратковременной и длительной прочностью при повышенных температурах (табл. 1.35) наглядно показывает преимущество метода быстрого нагрева и нагружения при отборе сплавов для специфических условий работы деталей. В особенности это заметно на сплавах АЛ19 и В2243. Объяснить это можно следующим образом: в твердом растворе этих сплавов содержатся переходные металлы, обладающие высокой межатомной связью с алюминием и легирующими компонентами. Кроме того, переходные металлы имеют низкий коэффициент диффузии, поэтому структура сплавов является более устойчивой, чем структура сплавов типа силумин, особенно сплавов АЛ4 и ВАЛ5, в которых упрочняющим компонентом является магний, обладающий высоким коэффициентом диффузии; в твердый раствор этих сплавов также входит кремний, тоже обладающий высоким коэффициентом диффузии. Эти два фактора и являются основной причиной быстрого разупрочнения сплавов типа силумин.

В условиях быстрого нагрева и нагружения при температуре 100° С исследуемые сплавы практически не разупрочняются. Прочность всех сплавов в зависимости от действия нагрузки от 10 до 300 с изменяется в малой степени. Как и следовало ожидать, при температуре 400° С понижение прочности в большей степени наблюдается у малоупрочненного сплава АЛ4.

4. ОСОБЕННОСТИ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

При установлении зависимости механических свойств от фазового состава сплавов, а также выяснении характера изменения структуры отливок в зависимости от условий их кристаллизации в заводской практике нашел широкое применение метод микроскопического анализа.

Для этой цели готовят шлифы, вырезанные из определенных мест отливки. Подготовка шлифа состоит из следующих операций;

- 1) опиловки или другой механической обработки образца;
- 2) последовательного полирования шлифа наждачной бумагой, начиная с бумаги с наиболее грубыми абразивными частичками и кончая бумагой с минимальными частичками;
- 3) полирования шлифа на станках с горизонтально или вертикально расположенными кругами, обтянутыми сукном (скорость вращения 500—800 об/мин); для этой цели сукно время от времени смачивают эмульсией, приготовленной из дистиллированной воды и окиси алюминия или окиси хрома (4—5 г на 100 см³ воды).

Подготовленный шлиф промывают в спирте, высушивают в струе сухого воздуха или фильтровальной бумагой и хранят в эксикаторе.

Для выявления макро- и микроструктур сплавов наиболее часто применяют травители, приведенные в табл. 1.36 и 1.37.

Характеристика составляющих алюминиевых сплавов после травления дана в табл. 1.38.

1.35. Секундная, кратковременная и длительная (за 1 ч) прочность исследуемых сплавов при повышенных температурах в кгс/мм²

t в °С	Обозначение прочностных свойств	Сплавы					
		В2243	АЛ19	В124	АЛ4М	ВАЛ5	АЛ4
20	σ_B	50,0	42,0	42,0	38,0	33,0	23,0
100	σ_{10}^*	50,0	42,0	41,0	38,0	32,5	23,0
	σ_{100}^*	50,0	41,5	40,0	37,5	32,5	23,0
	σ_{300}^*	49,0	41,0	39,0	37,0	32,0	22,5
	σ_B	48,0	39,0	36,5	35,0	29,5	21,0
	(δ)	(8,0)	(6,5)	(1,0)	(7,1)	(2,8)	(5,2)
	$\sigma_{\text{ч}}$	37,0	30,0	29,0	26,0	24,0	18,0
200	σ_{10}^*	43,0	37,0	34,5	32,0	30,0	22,5
	σ_{100}^*	42,5	33,0	32,5	30,0	28,5	18,5
	σ_{300}^*	41,0	30,0	31,0	29,5	26,5	17,0
	σ_B	36,0	30,5	31,0	27,5	23,0	16,5
	(δ)	(7,0)	(9,5)	(2,5)	(6,2)	(3,1)	(5,5)
	$\sigma_{\text{ч}}$	28,0	24,5	24,0	20,0	17,0	13,5
300	σ_{10}^*	29,5	20,5	25,0	19,0	18,0	15,0
	σ_{100}^*	26,0	19,5	21,0	18,0	17,0	12,5
	σ_{300}^*	24,5	18,0	18,0	16,0	16,0	12,0
	σ_B	17,0	15,0	13,0	12,0	10,0	5,5
	(δ)	(16,6)	(14,5)	(6,0)	(12,5)	(10,3)	(19,0)
	$\sigma_{\text{ч}}$	12,0	11,0	7,5	6,5	5,0	3,5
400	σ_{10}^*	15,5	10,0	9,0	9,0	8,5	5,5
	σ_{100}^*	12,0	9,0	7,0	6,5	6,0	4,5
	σ_{300}^*	10,0	7,5	6,0	5,5	5,0	4,0
	σ_B	5,0	5,5	4,0	3,5	3,5	3,0
	(δ)	(31,0)	(28,0)	(22,1)	(60,0)	(46,3)	(65,0)
	$\sigma_{\text{ч}}$	2,5	2,5	2,5	1,5	—	—

Примечания: 1. Сплавы В2243, АЛ4М, В124 заливали в кокиль; сплавы АЛ19, ВАЛ5 и АЛ4 — в песчаную форму.

2. Значения σ_B и δ в % (в скобках) получены при испытании по стандартной методике при указанных температурах (выдержка перед испытанием 30 мин).

1.36. Травители для выявления микро- и макроструктуры алюминиевых сплавов

Состав травителей	Применение	Способ выявления микроструктуры
0,5 см ³ HF + 99,5 см ³ H ₂ O	Общего назначения, а также для протравления границ зерен многих сплавов (АЛ2, АЛ4, АЛ9 и др.)	Поверхность шлифа протереть ватой, смоченной травителем в течение 10—15 с. Затем промыть в дистиллированной холодной воде и просушить
1 г NaOH + 100 см ³ H ₂ O	Для выявления микроструктуры сплавов АЛ1, АЛ7 и др.	Поверхность шлифа протереть ватой, смоченной в течение 10—15 с подогретым до 50°С травителем, затем промыть в дистиллированной холодной воде и просушить
10 г NaOH + 100 см ³ H ₂ O	Для выявления микро- и макроструктуры сплавов АЛ1, АЛ7	Погрузить шлиф в нагретый до 70°С травитель на 5 с, затем промыть в дистиллированной холодной воде и просушить
20 см ³ H ₂ SO ₄ (1,8) + 80 см ³ H ₂ O	Для выявления микро- и макроструктуры сплавов АЛ8, АЛ13 и др.	Погрузить шлиф в нагретый до 70°С травитель на 30 с, затем промыть в дистиллированной холодной воде и просушить
25 см ³ HNO ₃ + 75 см ³ H ₂ O	Для выявления микро- и макроструктуры сплавов АЛ1, АЛ7 и др.	Погрузить шлиф в нагретый до 70°С травитель на 30 с, затем промыть в дистиллированной холодной воде и просушить
0,5 см ³ HF (40%) + 1,5 см ³ HCl (1,18) + 2,5 см ³ HNO ₃ (1,4) + 95,5 см ³ H ₂ O	Общего назначения, а также для выявления структуры многих сплавов (АЛ4, АЛ5, АЛ9 и др.), в особенности для выявления границ зерен	Погрузить шлиф в травитель на 10—15 с, промыть в дистиллированной холодной воде и просушить

Продолжение табл. 1.36

Состав травителей	Применение	Способ выявления микроструктуры
$20 \text{ см}^3 \text{ HCl (1,18)} +$ $+ 20 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3 \text{ (1,4)} +$ $+ 5 \text{ см}^3 \text{ HF (40\%)} +$ $+ 55 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$	Для протравливания границ зерен многих сплавов, а также для выявления макроструктуры сплавов	Поверхность шлифа протереть ватой, смоченной травителем в течение 2—5 с, затем промыть в дистиллированной холодной воде и просушить
$10 \text{ см}^3 \text{ H}_3\text{PO}_4 \text{ (1,7)} +$ $+ 30 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$	Для выявления структуры сплавов АЛ1, АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ5	Погрузить шлиф в травитель на время до 2 мин, затем промыть в дистиллированной холодной воде и просушить
$10 \text{ г Fe (NO}_3)_3 \text{ (1,4)} +$ $+ 75 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$	Для выявления структуры сплава АЛ5	Погрузить шлиф на 30 с в подогретый травитель до 50°C , затем промыть в дистиллированной холодной воде и просушить

1.37. Травители и способы травления на макроструктуру образцов из алюминиевых сплавов

Состав травителя	Приготовление травителей и способы травления	Предпочтительно применять
Глицерин $18 \text{ см}^3 +$ $+ 9 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3 + 75 \text{ см}^3$ $\text{HCl} + 1,5 \text{ см}^3 \text{ HF} +$ $+ 9 \text{ см}^3$ концентрированного раствора FeCl_3	Травитель следует готовить в той же последовательности, как приведен состав. Шлиф погружают в реактив на 15—20 с, а затем в 50%-ный водный раствор HNO_3 на 5—10 с, после чего шлиф промывают в воде и просушивают	Для чистого алюминия, сплавов типа АМц и др.
10%-ный водный раствор NaOH	При температуре 70°C шлиф выдерживают в растворе до образования темной пленки (30—45 с), затем шлиф опускают в 25%-ный водный раствор HNO_3 с последующим промыванием в воде и просушиванием	Для сплавов, содержащих медь (АЛ1, АЛ6, АЛ7 и др.)

Продолжение табл. 1.37

Состав травителя	Приготовление травителей и способы травления	Предпочтительно применять
$50 \text{ см}^3 \text{ HCl} + 25 \text{ г}$ $\text{Fe (NO}_3)_3 + 25 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$	Реактив после приготовления рекомендуется выдержать один сутки. Ватой шлиф смачивают реактивом до появления темной пленки, затем его промывают в водном 25%-ном растворе HNO_3 до полного удаления черноты, потом промывают в воде и просушивают	Для сплавов типа АЛ2, АЛ4, АЛ9 и др.
$10 \text{ см}^3 \text{ HF} + 15 \text{ см}^3$ $\text{HCl} + 90 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$	В течение 60 с шлиф смачивают в реактиве, а затем промывают в воде и просушивают	Для сплавов типа магналий (АЛ8, АЛ13)
$16,5 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3 +$ $+ 35 \text{ см}^3 \text{ HCl} + 50 \text{ см}^3$ $\text{Fe (NO}_3)_3 + 700 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$	При комнатной температуре шлиф погружают в реактив. После выявления макроструктуры шлиф переносят в другой реактив (25%-ный раствор HNO_3) и затем промывают в воде и просушивают	Для сплавов типа АЛ1, АЛ24 и др.
$10 \text{ см}^3 \text{ HF} + 7,5 \text{ см}^3$ $\text{HCl} + 7,5 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3 +$ $+ 25 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$	При комнатной температуре шлиф погружают в реактив. После выявления макроструктуры шлиф переносят в другой реактив (25%-ный раствор HNO_3), затем промывают в воде и просушивают	Для сплавов типа АЛ1, АЛ24 и др.

1.38. Характеристика фаз алюми

ниевых сплавов после травления

Составляющие	Цвет и вид фаз					после травления реактивами				
	0,5 см ³ HF + 99,5 см ³ H ₂ O	1 г NaOH + 100 см ³ H ₂ O	10 г NaOH + 100 см ³ H ₂ O	20 см ³ H ₂ SO ₄ (1,8) + 80 см ³ H ₂ O		25 см ³ HNO ₃ (1,4) + 75 см ³ H ₂ O	0,5 см ³ HF (40%) + 1,5 см ³ HCl (1,18) + 2,5 см ³ HNO ₃ (1,4) + 99,5 см ³ H ₂ O	20 см ³ HCl (1,18) + 20 см ³ HNO ₃ (1,4) + 5 см ³ HF (40%) + 55 см ³ H ₂ O	10 см ³ H ₂ PO ₄ (1,7) + 90 см ³ H ₂ O	10 г Fe (NO ₃) ₃ (1,4) + 75 см ³ H ₂ O
Si	Серый, зерна пластинчатой формы	Немного светлее, границы более очерчены	Не травится, светло-серого цвета, границы зерен хорошо очерчены			Травится очень слабо, границы зерен хорошо очерчены	Травится слабо, границы зерен хорошо очерчены	Травится слабо, цвет темнеет	Не травится	
Mg ₂ Si	Темно-серый, кристаллизуется в виде тончайших пластинок или имеет вид паукообразного разветвления (в сплавах типа АЛ8, АЛ13)	Первичные кристаллы окрашены в светло-голубой цвет, а вторичные — в темно-серый до черного цвета	Границы зерен очерчены, цвет не изменен	Цвет потемнел, большинство первичных кристаллов имеет голубую окраску, границы зерен очерчены		Травится, первичные кристаллы очень часто имеют голубоватую окраску. Чем мельче частицы, тем они сильнее травятся с изменением окраски до темно-коричневого цвета		Травится, цвет темнеет		
Al ₃ Cu	Светло-розовый, первичные кристаллы имеют компактную форму, вторичные кристаллы располагаются в эллипсовидной форме эвтектики α + CuAl ₂	Розоватый оттенок исчез. Очень часто имеет светло-серый цвет	Границы зерен очерчены. В основном цвет не изменился	Местами кристаллы сильно разъедены и потемнели до черно-коричневого цвета	Светлого цвета, розовый оттенок исчез	Травится сильно, окраска меняется от коричневого до черного цвета		Травится слабо		Травится, окраска сильно темнеет. Границы зерен хорошо очерчены
Al ₃ Mg ₃	Светло-серый, первичные кристаллы имеют компактный вид, но более вытянутую форму, чем кристаллы Al ₂ Cu	Границы зерен хорошо очерчены, местами разъедены, цвет не меняется	Цвет мало изменен. Границы зерен хорошо очерчены	Зерна местами разъедены, цвет не меняется	Травится, цвет не меняется	Травится очень слабо	Травится слабо		Не травится	
Al ₃ Fe	Серый, кристаллы пластинчатой формы	Травится, окраска изменяется до темно-коричневого цвета	Заметно травится, окраска темнеет	Травится, окраска изменяется до черного цвета	Травится, окраска темнеет, местами сильно разъедено	Травится сильно, цвет темнеет	Травится, окраска темнеет, границы зерен хорошо очерчены		Травится слабо	Травится, окраска темнеет, границы зерен хорошо очерчены

Продолжение табл. 1.38

Составляющие	Цвет и вид фаз до травления	Цвет и вид фаз				после травления реактивами				
		0,5 см ³ HF + 99,5 см ³ H ₂ O	1 г NaOH + 100 см ³ H ₂ O	10 г NaOH + 100 см ³ H ₂ O	20 см ³ H ₂ SO ₄ (1,8) + 80 см ³ H ₂ O	25 см ³ HNO ₃ (1,4) + 75 см ³ H ₂ O	0,5 см ³ HF (40%) + 1,5 см ³ HCl (1,18) + 2,5 см ³ HNO ₃ (1,4) + 99,5 см ³ H ₂ O	20 см ³ HCl (1,18) + 20 см ³ HNO ₃ (1,4) + 5 см ³ HF (40%) + 55 см ³ H ₂ O	10 см ³ H ₃ PO ₄ (1,7) + 90 см ³ H ₂ O	10 г Fe (NO ₃) ₃ (1,4) + 75 см ³ H ₂ O
Al ₂ Si ₂ Fe	Цвет и вид фаз до травления	Травится слабо	Травится, окраска темнеет	Травится, окраска темнеет до коричневого цвета	Травится, окраска темнеет до коричневого цвета	Травится слабо, окраска меняется до коричневого цвета	Травится слабо, окраска слегка темнеет	Травится слабо	Травится, окраска темнеет, границы зерен хорошо очерчены	
Al ₃ SiFe	Желтовато-серый, кристаллизуется в пластинчатой, иногда в разветвленной форме	Травится слабо	Травится слабо, окраска меняется до слабо-коричневого цвета	Травится, окраска темнеет, границы зерен хорошо очерчены	Травится очень слабо	Травится, окраска меняется до коричневого цвета	Травится, окраска меняется до коричневого цвета	То же	То же	
Al ₆ Mn	Светло-серый, кристаллизуется часто в ромбическую форму с наличием пустот	Травится слабо, окраска слегка темнеет	Травится, окраска темнеет, а при сильном травлении цвет меняется от синего до черного	Травится слабо	Не травится	Травится слабо	Травится слабо	То же	Травится слабо	
Al ₆ (MnSiFe)	Светло-серый, кристаллизуется в разветвленные формы или крупные частицы округлой формы	Травится, окраска меняется от желто-коричневого до голубого цвета	Травится слабо	Травится, окраска очень часто пестрая	Травится, окраска имеет темно-коричневый цвет	Не травится	Травится очень слабо	Травится слабо	Травится, окраска темнеет, границы зерен хорошо очерчены	
S (Al ₂ MgCu)	Желтовато-серый, темнеет при полировании, кристаллизуется в компактной форме	Травится слабо, при длительном травлении темнеет	Не травится	Травится слабо	Травится, окраска меняется до темно-коричневого цвета	Травится, окраска темнеет	Травится, окраска имеет темно-коричневый цвет	Травится, окраска очень часто имеет темно-коричневый цвет	Травится, окраска меняется до темно-коричневого цвета	

Продолжение табл. 1.38

Составляющие	Цвет и вид фаз				после травления реактивами					
	Цвет и вид фаз до травления									
	0,5 см ³ HF + 99,5 см ³ H ₂ O	1 г NaOH + 100 см ³ H ₂ O	10 г NaOH + 100 см ³ H ₂ O	20 см ³ H ₂ SO ₄ (1,8) + 80 см ³ H ₂ O	25 см ³ HNO ₃ (1,4) + 75 см ³ H ₂ O	0,5 см ³ HF (40%) + 1,5 см ³ HCl (1,18) + 2,5 см ³ HNO ₃ (1,4) + 99,5 см ³ H ₂ O	20 см ³ HCl (1,18) + 20 см ³ HNO ₃ (1,4) + 5 см ³ HF (40%) + 55 см ³ H ₂ O	10 см ³ H ₂ PO ₄ (1,7) + 90 см ³ H ₂ O	10 г Fe(NO ₃) ₃ + 75 см ³ H ₂ O	
T _{Mg} (Al ₁₆ Mg ₆ Cu)	Светло-желтый, кристаллизуется в компактной форме, темнеет при полировании	Травится слабо	Не травится	Травится очень слабо, окраска темнеет	Травится сильно, окраска имеет темный цвет	Травится, окраска темнеет		Заметно травится, окраска меняется	Заметно травится, окраска меняется до темно-коричневого цвета	
T _{NI} (Al ₁₄ Cu ₃ NI)	Светло-серый, кристаллизуется в весьма разветвленной форме	Не травится	Травится слабо, окраска мало изменяется	Травится слабо, окраска немного темнеет	Травится слабо, окраска темнеет	Травится слабо		Травится, окраска темнеет		
SN ₁ [Al ₁₃ (CuNi) ₂]	Темновато-серый, кристаллизуется в весьма разветвленной форме	Травится, окраска меняется до коричневого цвета	Травится очень слабо	Травится слабо, меняется окраска, при длительном травлении темнеет до светло-коричневого цвета	Травится слабо	Травится, окраска меняется до коричневого цвета		Травится слабо		
Al ₁₃ NI	Серый, кристаллизуется в форме пластин	Травится, окраска меняется до темно-синего или темного бурого цвета	Травится очень слабо, окраска немного темнеет	Травится слабо, окраска изменяется до темно-голубого цвета	Травится слабо, окраска немного темнеет	Не травится		Травится слабо		
Al ₁₃ NIFe	Серый, кристаллизуется в форме пластин и в виде крупных зерен	Травится, окраска меняется до коричневого цвета и даже до темно-голубого	Травится слабо, окраска меняется до светло-коричневого цвета	Травится слабо, окраска темнеет до коричневого цвета	Не травится		Травится, окраска меняется от коричневого до темно-голубого цвета		Не травится	

Продолжение табл. 1.38

Составляющие	Цвет и вид фаз				после травления реактивами				
	Цвет и вид фаз до травления								
П (Al ₉ Si ₄ Mg ₅ Fe)	Сероватый, очень часто кристаллизуется в весьма разветвленные формы	Травится слабо		Травится	слабо, окраска меняется до темно-серого цвета				
W (Al ₁₇ Mg ₆ Cu ₃ Si ₄)	Светло-серый, кристаллизуется в компактной форме	Травится, окраска меняется до темно-коричневого цвета	Не травится	Травится слабо	Травится, окраска меняется до темно-коричневого цвета	Травится слабо	Травится с почернением окраски	Не травится	
Al ₇ Cu ₂ Fe	Серовато-желтый, кристаллизуется в компактной форме	Травится слабо, окраска меняется от светло-серого до темно-серого цвета	То же	То же	Травится слабо, окраска меняется до светло-коричневого цвета	Травится, окраска меняется до коричневого цвета	Травится слабо, окраска меняется до темно-серого цвета	Не травится	Травится, окраска меняется от коричневого до темно-голубого цвета
Al ₁₂ Mn ₂ Cu	Серый, кристаллизуется в пластинчатой или компактной форме	Травится, окраска меняется до коричневого или темно-серого цвета	Травится, окраска меняется до коричневого цвета	Травится	слабо	Травится, окраска меняется до черного цвета	Травится, окраска меняется до черного цвета	Не травится	
Al ₂ Cr	Серый, кристаллизуется в пластинчатой форме	Не травится	Травится слабо, окраска меняется до светло-коричневого цвета	То же	Травится слабо		То же		
Al ₃ Ti	Светло-серый, кристаллизуется в пластинчатой форме	Травится слабо, окраска не темнеет	Травится слабо, окраска меняется до светло-коричневого цвета	Не тра	вится	Травится слабо		Не травится	

Продолжение табл. 1.38

Составляющие	Цвет и вид фаз до травления	Цвет и вид фаз				после травления реактивами				
		0,5 см ³ HF + + 99,5 см ³ H ₂ O	1 г NaOH + + 100 см ³ H ₂ O	10 г NaOH + + 100 см ³ H ₂ O	20 см ³ H ₂ SO ₄ (1,8) + + 80 см ³ H ₂ O	25 см ³ HNO ₃ (1,4) + + 75 см ³ H ₂ O	0,5 см ³ HF (40%) + + 1,5 см ³ HCl (1,18) + + 2,5 см ³ HNO ₃ (1,4) + + 99,5 см ³ H ₂ O	20 см ³ HCl (1,18) + + 20 см ³ HNO ₃ (1,4) + + 5 см ³ HF (40%) + + 55 см ³ H ₂ O	10 см ³ H ₃ PO ₄ (1,7) + + 90 см ³ H ₂ O	10 г Fe(NO ₃) ₃ (1,4) + + 75 см ³ H ₂ O
MgZn ₂	Светло-серый, кристаллизуется в пластничатой форме	Травится, окраска меняется до коричневого цвета	Не травится	Травится очень сильно окраска меняется до черного цвета	Травится, окраска меняется до черного цвета			Травится, окраска темнеет		
Al ₁₇ (CrFe) ₁	Светло-серый, кристаллизуется в виде пластики или в компактной форме	Травится слабо, окраска меняется до светло-коричневого цвета	Травится, окраска меняется до коричневого цвета	Травится, окраска меняется до темно-коричневого цвета	Не тр					
AlCrMg	Светло-серый, кристаллизуется в пластничатой форме	Травится слабо, окраска меняется до светло-коричневого цвета		То		Травится слабо, окраска меняется до светло-коричневого цвета		То же		

5. ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Литейные свойства сплава определяются его химическим составом и структурой. На рис. 1.33 приведена зависимость литейных свойств от состава двойных систем эвтектического типа, представляющих наибольший интерес при рассмотрении алюминиевых сплавов.

Жидкотекучесть. Получение качественных отливок зависит прежде всего от жидкотекучести сплава и его способности заполнять форму при минимальной температуре. Жидкотекучесть сплава зависит от его физико-химических свойств (характера кристаллизации, вязкости, поверхностного натяжения и т. д.). Кроме того, на жидкотекучесть влияют свойства формы (геометрия формы, состав формовочных материалов, форма и размер литников и т. д.).

Наиболее часто жидкотекучесть сплава определяют по прутковой (рис. 1.34, а) и спиральной (рис. 1.34, б) пробам. Значения жидкотекучести алюминиевых сплавов приведены в табл. 1.39, из которой следует, что высокую жидкотекучесть имеют сплавы типа силумин.

Склонность к образованию усадочных раковин. Это свойство у сплавов эвтектического типа и у сплавов типа твердых растворов в большинстве случаев проявляется по-разному: в сплавах первой группы

в основном образуются концентрированные раковины (рис. 1.35, а), а в сплавах второй группы — рассеянная пористость (рис. 1.35, б). Следует отметить, что на образование того или другого вида усадки могут сильно влиять технологические факторы, а также конфигурация и размеры отливки.

Линейная усадка. Это свойство характеризует термическое сжатие или уменьшение линейных размеров отливки в период затвердевания до полного охлаждения. Величина усадки зависит от химического состава сплава. Вследствие пониженной температуры плавления эвтектики линейная усадка эвтектических сплавов ниже, чем усадка компонентов, образующих такой сплав. Компоненты, входящие в твердый раствор, также снижают линейную усадку основного металла. Минимальную усадку имеет сплав АЛ2 (табл. 1.39).

Склонность к образованию трещин. Это свойство проявляется вследствие затрудненной усадки в процессе охлаждения отливки. Для определения горячеломкости алюминиевых сплавов применяют хорошо известную методику. Сущность методики заключается в том, что на сравнительно малом кольцевом образце (рис. 1.36) создают жесткие условия кристаллизации, вызывающие усадочные напряжения. Критерием горячеломкости служит максимальная ширина кольца (в мм),

при которой появляется трещина. Чем больше ширина кольца, при которой появляются трещины, тем больше склонен сплав к горячим трещинам. Из табл. 1.39 следует, что силумины не склонны к образованию горячих трещин.

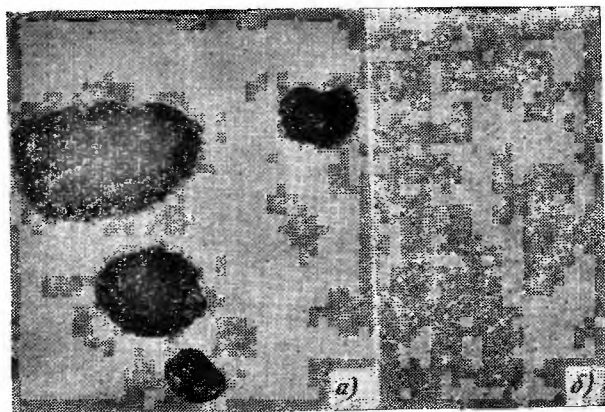


Рис. 1.35. Концентрированная раковина в отливке из сплава АЛ4 (а) и рассеянная пористость в отливке из сплава АЛ8 (б)



Рис. 1.36. Отливки образцов для определения склонности легких сплавов к горячим трещинам

Герметичность. Герметичность обычно определяют с помощью гидро- и пневмоиспытаний стандартной пробы (рис. 1.37) со стенками толщиной 4 мм. При появлении течи регистрируется давление, которое и является критерием оценки герметичности. Наиболее герметичными сплавами являются силумины, кристаллизующиеся в узком интервале температур (табл. 1.39).

1.39. Типичные литейные свойства алюминиевых сплавов (заливка при 700° С)

Сплав	Литейная усадка в %	Жидкотекучесть в мм по пробе		Горячеломкость (ширина кольца) в мм	Герметичность в ат
		прутковой	спиральной		
АЛ8	1,3	280	600	22,5	60
АЛ27	1,2	270	—	12,5	60
АЛ13	1,2	320	500	12,5	118
АЛ22	1,2	380	650	15	130
АЛ2	0,9	420	820	5	160
АЛ4	1,0	360	760	5	260
АЛ9	1,0	350	770	5	190
ВАЛ5	1,0	550	—	5	350
АЛ7	1,4	163	280	35	50
АЛ19	1,25	205	410	32,5	70
В2243	1,25	245	500	27,5	100
АЛ3	1,15	240	700	12,5	140
АЛ5	1,1	344	750	7,5	160
АЛ6	1,1	300	650	10	230
АЛ4М	1,0	375	850	5	350
В124	1,1	350	800	7,5	350
АЛ1	1,35	260	—	27,5	90
АЛ20	1,2	320	600	17,5	100
АЛ21	1,2	360	700	22,5	100
АЛ24	1,2	230	—	22,5	160
АЛ25	1,11	425	—	5	—
АЛ26	1,1	400	—	7,5	—

Пористость снижает величину герметичности отливок и существенно сказывается на понижении коррозионной стойкости и прочности их. Особенно сильно пористость влияет на характеристику предела выносливости.

Степень влияния пористости на механические свойства показана на примере испытания образцов, вырезанных из картеров авиадвигателя жидкостного охлаждения. Данные этих испытаний легли в основу разработки пятибалльной шкалы пористости, которая принята промышленностью как стандарт (рис. 1.38).

Ликвация. Ликвация — это неоднородность химического состава сплава в разных точках отливки. Образование неоднородности химического состава наиболее резко проявляется в крупногабаритных отливках из сплавов типа твердого раствора. Устранение ликвации обычно достигается путем совершенствования технологии литья (изменения литниковой системы, скорости литья) и подбора режима термической обработки.

Склонность к изменению механических свойств в зависимости от толщины стенок отливок. Это очень важная характеристика литейных алюминиевых сплавов. Данные, приведенные в табл. 1.40, могут служить расчетными величинами для конструкторов.

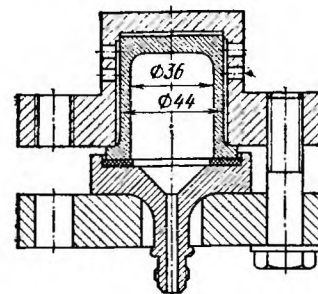


Рис. 1.37. Форма образца для испытания сплавов на герметичность

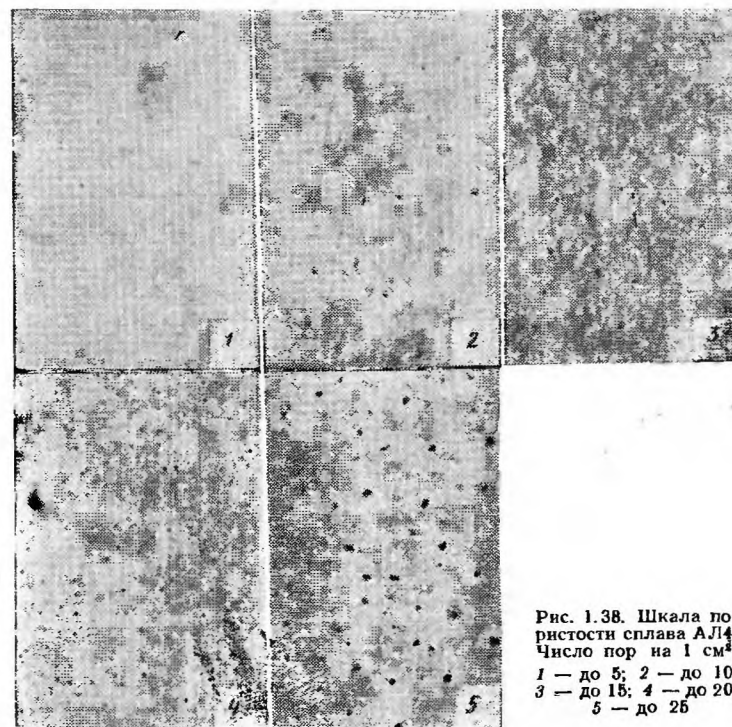


Рис. 1.38. Шкала пористости сплава АЛ14. Число пор на 1 см²:
1 — до 5; 2 — до 10;
3 — до 15; 4 — до 20;
5 — до 25

1.40. Влияние толщины стенок отливок на механические свойства литейных алюминиевых сплавов

Продолжение табл. 1.40

Сплав	Толщина стенки в мм	Состояние отливки			
		без термической обработки		термически обработанная	
		$\sigma_{в}$ в кгс/мм ²	δ в %	$\sigma_{в}$ в кгс/мм ²	δ в %
АЛ8	15	—	—	28,6	9,3
	30	—	—	18,8	4,3
	45	—	—	18,1	4,0
	60	—	—	17,2	2,7
АЛ13	15	15,5	1,8	—	—
	30	12,7	1,0	—	—
	45	11,7	0,8	—	—
	60	11,0	1,6	—	—
АЛ22	15	—	—	26	4,5
	30	—	—	23	3,0
	45	—	—	19	2,0
	60	—	—	18	1,5
АЛ2 (немодифицированный)	15	13,5	5,5	—	—
	30	13,0	2,4	—	—
	45	12,1	1,7	—	—
	60	11,2	1,5	—	—
АЛ2 (модифицированный)	15	18,2	15,1	—	—
	30	17,8	12,8	—	—
	45	17,0	9,7	—	—
	60	15,9	7,4	—	—
АЛ4 (немодифицированный)	15	—	—	22,6	4,0
	30	—	—	21,9	3,5
	45	—	—	18,1	2,3
	60	—	—	15,4	1,0
АЛ4 (модифицированный)	15	—	—	26,1	5,0
	30	—	—	22,2	4,0
	45	—	—	19,2	2,2
	60	—	—	15,4	1,0
АЛ6	15	15,1	—	15,8	2,5
	30	13,4	1,2	15,4	—
	45	12,4	1,7	12,5	1,8
	60	11,1	2,0	11,6	1,0
АЛ9	15	—	—	20,3	5,3
	30	—	—	17,1	2,5
	45	—	—	15,3	1,7
	60	—	—	14,7	1,4

Сплав	Толщина стенки в мм	Состояние отливки			
		без термической обработки		термически обработанная	
		$\sigma_{в}$ в кгс/мм ²	δ в %	$\sigma_{в}$ в кгс/мм ²	δ в %
ВАЛ5	15	—	—	32	3
	30	—	—	28	2,3
	45	—	—	23,5	1,5
	60	—	—	20	1,2
АЛ7	15	18,1	6,5	20,3	7,8
	30	10,8	3,0	17,5	6,8
	45	8,5	2,0	14,0	2,8
	60	7,5	1,9	12,8	2,5
АЛ19	15	—	—	38	5,5
	30	—	—	36	4,0
	45	—	—	34	2,5
	60	—	—	32	1,8
В2243	15	—	—	49	8,0
	30	—	—	48	6,5
	45	—	—	47	5,0
	60	—	—	46	4,0
ВАЛ10	15	—	—	51,0	7,0
	30	—	—	50,0	6,2
	45	—	—	48,0	5,4
	60	—	—	47,0	4,3
АЛ3	15	19,8	0,9	27,6	—
	30	15,8	—	25,0	0,5
	45	15,0	1,0	20,2	—
	60	12,9	—	17,2	—
АЛ5	15	20,5	—	24,8	3,2
	30	16,0	—	22,9	1,5
	45	13,9	—	18,4	1,2
	60	12,5	—	16,0	0,8
АЛ4М	15	—	—	32,0	2,4
	30	—	—	28,0	1,9
	45	—	—	23,0	1,3
	60	—	—	21,0	1,0
В124	15	—	—	41,0	1,8
	30	—	—	35,0	1,4
	45	—	—	29,0	1,2
	60	—	—	26,0	1,0

Продолжение табл. 1.40

Сплав	Толщина стенки в мм	Состояние отливки			
		без термической обработки		термически обработанная	
		σ_B в кгс/мм ²	δ в %	σ_B в кгс/мм ²	δ в %
АЛ1	15	20,6	—	25,4	1,2
	30	16,8	0,8	23,8	1,0
	45	15,6	0,9	20,3	—
	60	13,4	0,8	17,3	0,7
АЛ20	15	—	—	30	0,8
	30	—	—	27	0,6
	45	—	—	25	0,5
	60	—	—	20	0,4
АЛ21	15	—	—	23	1,2
	30	—	—	21	1,0
	45	—	—	20	0,8
	60	—	—	18	0,6
ВАЛ1	15	—	—	30	2,5
	30	—	—	28	1,8
	45	—	—	26	1,5
	60	—	—	24	1,2
АЦР1У	15	20	1,7	—	—
	30	18	1,3	—	—
	45	17,2	1,1	—	—
	60	16	0,8	—	—

6. ОСОБЕННОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ (ТАБЛ. 1.41)

1.41. Особенности алюминиевых литейных сплавов и области их применения

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
АЛ8	Высокие механические свойства и коррозионная стойкость, минимальная плотность, отличная обрабатываемость резанием	Повышенная окисляемость в жидком состоянии, пониженные литейные технологические свойства. При содержании магния на верхнем пределе сплав проявляет повышенную склонность к длительному естественному старению и растрескиванию под напряжением	Детали, работающие в атмосферных и морских условиях, а также детали, несущие повышенные вибрационные нагрузки и работающие при температурах не выше 60° С

Продолжение табл. 1.41

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
АЛ27; АЛ27-1	Прочнее сплава АЛ8, коррозионная стойкость, а также другие свойства их практически такие же, как и у сплава АЛ8	Пониженные литейные свойства, при содержании магния на верхнем пределе сплавы проявляют повышенную склонность к длительному естественному старению и растрескиванию под напряжением	Детали, работающие в атмосферных и морских условиях при температурах до 60° С
АЛ22	Отличные коррозионная стойкость и обрабатываемость резанием. Высокие механические свойства, минимальная плотность, удовлетворительные литейные технологические свойства, значительно превосходящие свойства сплавов АЛ8 и АЛ13	С повышенным содержанием кремния понижаются механические свойства сплава	Детали, работающие в атмосферных условиях и морских условиях при температурах не выше 150° С
АЛ23; АЛ23-1	Коррозионностойкие	Термически неупрочняемые. Более низкие свойства, чем у сплава АЛ8	Корпусные и другие детали, работающие при температурах до 150° С
АЛ13	Более коррозионностойкий, чем сплавы АЛ23 и АЛ23-1	Низкие литейные свойства, механические свойства ниже, чем у сплавов АЛ23 и АЛ23-1	Детали, работающие в морской атмосфере при температурах до 150° С
АЛ29	Коррозионная стойкость такая же, как и у сплава АЛ13, но прочностные свойства выше	Термически неупрочняется, поэтому прочность ниже, чем у сплава АЛ22	Детали, работающие в атмосферных условиях при температурах до 200° С

Продолжение табл. 1.41

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
АЛ2	Отличные литейные технологические свойства (минимальная литейная усадка, не дает горячих трещин, высокие жидкотекучесть и герметичность), хорошая коррозионная стойкость, малая плотность. Минимальное снижение прочности по мере увеличения массивности сечений стенок отливок. Хорошая свариваемость	Термически не упрочняется. Недостаточная механическая прочность. Склонен к образованию крупной газовой пористости и концентрированных усадочных раковин в массивных частях отливок	Тонкостенное ажурное литье (детали приборов, корпусы помп и другие детали с повышенной герметичностью, работающие при температурах не выше 200° С)
АЛ4	Высокие литейные технологические свойства (жидкотекучесть, герметичность), коррозионная стойкость и механическая прочность. Хорошая свариваемость и удовлетворительная обрабатываемость резанием	Сравнительно сложная технология литья, пониженная жаропрочность, повышенная газовая пористость	Крупные и средние, сложные по конфигурации детали (картеры, блоки двигателей), корпусы насосов, работающие при температуре не выше 200° С
АЛ9	Хорошие коррозионная стойкость, механические и литейные технологические свойства (не склонен к трещинообразованию в процессе кристаллизации и последующего охлаждения, минимальная линейная усадка). По обрабатываемости резанием и прочности сплав АЛ9 превосходит сплав АЛ2	По механической прочности сплав АЛ9 уступает сплаву АЛ4	Детали самолетов, приборов, корпусов помп, карбюраторов, и работающих при температурах не выше 200° С
ВАЛ5	Высокие литейные, коррозионные и механические свойства. По обрабатываемости резанием превосходит сплавы АЛ4 и АЛ9. Высокая герметичность	Содержание бериллия требует особых условий плавки	Крупногабаритные силовые детали, работающие при температурах не выше 225° С

Продолжение табл. 1.41

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
АЛ7	Высокие механические свойства и обрабатываемость резанием, имеет меньшую склонность к образованию газовой пористости, чем сплавы типа силумин	Пониженные коррозионная стойкость и литейные свойства (плохая герметичность и большая линейная усадка)	Кронштейны и другие мелкие детали, требующие повышенной обрабатываемости резанием, работающие при температурах не выше 250° С
АЛ19, В2243	Высокие механические свойства, хорошая обрабатываемость резанием, малая склонность к образованию газовой пористости. Сплав В2243 имеет более высокие прочностные характеристики. Оба сплава обладают высокой сопротивляемостью вибрационным нагрузкам. Сплавы сохраняют прочность и пластичность в течение длительного времени	Пониженные технологические свойства	Нагруженные особо ответственные крупногабаритные детали, работающие при температуре до 300° С
АЛ3	Удовлетворительные механическая прочность, свариваемость, литейные технологические свойства и обрабатываемость режущим инструментом	Нижний и верхний пределы химического состава сплава обуславливают различные режимы термической обработки в силу различия фазового состава	Детали малой и средней нагруженности (корпусы арматуры и приборов, работающих при температурах не выше 275° С)
АЛ5	Высокая механическая прочность. Жаропрочность выше, чем сплава АЛ4. Удовлетворительные литейные технологические свойства, свариваемость и коррозионная стойкость. Лучшая обрабатываемость резанием, чем сплава АЛ4. Сплав меньше склонен к газовой пористости, чем сплавы АЛ2 и АЛ4	Пониженная пластичность (ниже, чем сплава АЛ4)	Головки цилиндров двигателей воздушного охлаждения, детали агрегатов и приборов, работающие при температуре не выше 250° С

Продолжение табл. 1.41

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
АЛ6	Удовлетворительные механические свойства, литейные технологические свойства, свариваемость, обрабатываемость резанием и коррозионная стойкость	Термически не упрочняется. Коррозионная стойкость ниже, чем сплавов АЛ2, АЛ4 и АЛ9	Детали карбюраторов и аппаратуры для приборостроения, работающие при температурах не выше 225° С
АЛ7	Сплав для кокильного литья, обладающий повышенной прочностью	Отливки, полученные в песчаных формах, обладают пониженной прочностью	Агрегатные детали
АЛ4М	Высокие литейные и прочностные свойства, высокая герметичность	По коррозионной стойкости уступает сплаву АЛ4	Крупногабаритные детали, корпуса насосов, работающие при температурах не выше 250° С
В124	Высокие литейные и прочностные свойства. По прочности, особенно по пределу текучести, превосходит все сплавы типа силумин	По коррозионной стойкости уступает сплаву АЛ4М	Детали агрегатов (крыльчатки, корпуса и др.), работающие при температурах до 275° С
АЛ1	Хорошие жаропрочность, механические свойства, свариваемость и обрабатываемость резанием	Пониженные жидкотекучесть и коррозионная стойкость, склонен к образованию усадочной рыхлоты и трещин в процессе кристаллизации и последующего охлаждения	Поршни и мало-ребристые головки цилиндров двигателей, работающие при температуре до 300° С
АЛ11	Высокие литейные технологические свойства, лучшая обрабатываемость резанием, чем сплава АЛ4	Повышенная плотность и пониженная пластичность по сравнению с пластичностью сплава АЛ4	Автомобильные и другие детали сложной по конфигурации конструкции, работающие при температурах не выше 175° С
АЛ20	Литейные свойства выше, чем сплава АЛ1; имеет повышенную жаропрочность	Пониженная пластичность	Детали, работающие при температурах до 275° С

Продолжение табл. 1.41

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
АЛ21	Наиболее жаропрочный из всех алюминиевых стандартных сплавов	Пониженная пластичность	Детали, работающие при температурах 300—350° С
АЛ24	Самозакаливающийся сплав, высокие механические и коррозионные свойства, хорошая обрабатываемость резанием	Пониженные литейные технологические свойства	Детали арматуры и приборов, работающие при температурах не выше 200° С
АЛ25	Хорошие литейные свойства, повышенная жаропрочность	Сплав имеет многокомпонентный состав	Поршни авто-тракторных двигателей, работающие при температурах до 325° С
АЛ26	Хорошие литейные свойства, повышенная жаропрочность	Сплав имеет многокомпонентный состав, при изготовлении требует более высокого содержания никеля и кремния, чем сплавы АЛ25 и АЛ30	Поршни, работающие при температурах до 350° С, более мощных авто-тракторных двигателей, чем двигателя, в которых применяют поршни из сплава АЛ25
АЛ30	Хорошие литейные свойства и повышенная жаропрочность	Сплав имеет многокомпонентный состав. При изготовлении требует более чистых исходных шихтовых материалов	Автомобильные поршни, работающие при температурах до 325° С
ВАЛ1	Высокая жаропрочность при температуре 300° С, превосходящая жаропрочность всех известных отечественных и зарубежных сплавов. Хорошая свариваемость и обрабатываемость резанием	Пониженные жидкотекучесть и коррозионная стойкость	Крупные детали реактивных двигателей, поршни и другие детали, работающие при температурах до 350° С
АЦР1У	Наиболее высокая жаропрочность при температуре 400° С из всех известных отечественных и зарубежных алюминиевых сплавов. Сплав обладает хорошими литейными свойствами	В закаленном состоянии имеет пониженную жаропрочность	Тонкостенные отливки деталей, работающих при температуре 400° С

Глава II

ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И РАСЧЕТ ШИХТЫ

1. ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

При плавке литейных алюминиевых сплавов в качестве шихтовых материалов применяют чистые металлы, лигатуры, отходы собственного производства (возврат), предварительные сплавы. Для приготовления сплавов и лигатур используют алюминий, бериллий, ванадий, кремний, кадмий, кальций, литий, магний, марганец, медь, никель, церий, титан, серебро, цинк, цирконий и др.

В табл. 1.42 приведены некоторые свойства легирующих элементов для литейных алюминиевых сплавов, а в табл. 1.43—1.52 — их химический состав.

1.42. Некоторые свойства легирующих элементов для алюминиевых сплавов

Элемент	ρ в г/см ³	$t_{пл}$ в °С	c в $\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}}$	Элемент	ρ в г/см ³	$t_{пл}$ в °С	c в $\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}}$
Be	1,835	1284	0,43	Mg	1,74	651	0,25
B	2,34	2300	—	Mn	7,4	1260	0,107—
V	6,11	1919	0,1272				0,112
Bi	9,8	271	0,029	Cu	8,9	1083	0,104
Ga	5,96	29,5	—	Ni	8,9	1452	0,103—
Ge	5,36	960	—				0,108
Fe	7,8	1539	0,108	Ce	6,79	797	—
Cd	8,65	321	0,055	Ti	4,54	1725	0,13
Ca	1,55	849	—	Ag	10,49	960,8	—
Si	2,49	1440	0,168	Cr	7,2	1890	0,1039
Li	0,531	180,5	0,81	Zn	7,13	419,4	0,0936
				Zr	6,4	1860	0,08

1.43. Химический состав цинка в % (ГОСТ 3640—65)

Марка	Zn, не менее	Примеси, не более					
		Pb	Fe	Cd	Cu	Sn	Всего
ЦВЧ	99,997	0,00001	0,00001	0,002	0,00001	0,00001	0,003
ЦВ	99,99	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,010
Ц0	99,975	0,015	0,007	0,010	0,001	0,001	0,025
Ц1	99,95	0,02	0,015	0,014	0,002	0,001	0,050
Ц2	98,7	1,0	0,05	0,20	0,005	0,002	1,3
Ц3	97,5	2,0	0,10	0,20	0,05	0,005	2,5

1.44. Химический состав магния первичного в чушках в % (ГОСТ 804—72)

Марка	Mg, не менее	Примеси, не более							
		Fe	Si	Ni	Cu	Al	Mn	Cr	Всего ре- гламенти- руемых
Mg90	99,9	0,04	0,01	0,001	0,005	0,02	0,04	0,005	

1.45. Химический состав меди в % (ГОСТ 859—86)

Марка	Cu, не менее	Примеси, не более												
		Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O	Zn	P	Ag	Всего
M00	99,99	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	—	0,001	0,001	—	0,01
M0	99,95	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	0,02	0,004	0,002	0,003	0,15
M06	99,97	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	Отсутствует	0,003	0,002	0,003	0,03
M1	99,90	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,05	0,005	—	0,003	0,1
M1p	99,90	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,0050	0,01	0,005	0,04	0,003	0,1
M2	99,70	0,002	0,005	0,01	0,05	0,1	0,01	0,05	0,01	0,07	—	—	—	0,3
M2p	99,70	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,01	—	0,04	—	0,3
M3	99,50	0,003	0,05	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,01	0,08	—	—	—	0,5
M3p	99,50	0,003	0,05	0,05	0,05	0,2	0,03	0,05	0,01	0,01	—	0,04	—	0,5
M4	99,0	0,005	0,2	0,2	0,1	—	0,3	—	0,02	0,15	—	—	—	1,0

1.46. Химический состав хрома металлического в % (ГОСТ 5905—67)

Марка	Cr, не менее	Примеси, не более														
		Al	Si	Fe	C	P	S	N	Cu	Pb	Sn	As	Bi	Zn	Sb	Cd
X00	99,0	0,5	0,3	0,6	0,3	0,02	0,02	0,05	0,01	0,0008	0,004	0,010	0,0005	0,006	0,008	0,001
X0	98,5	0,5	0,4	0,6	0,3	0,02	0,02	—	0,02	0,001	0,004	0,010	0,0005	0,010	0,008	0,001
X1	98,0	0,7	0,5	0,8	0,4	0,03	0,03	—	0,04	—	—	—	—	—	—	—
X2	97,0	1,5	0,5	1,2	0,5	0,03	0,04	—	0,05	—	—	—	—	—	—	—
X3	97,0	0,1	1,0	1,2	0,6	0,03	0,03	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—

1.47. Химический состав кремния кристаллического в % (ГОСТ 2169—69)

Марка	Si, не менее	Примеси, не более			
		Fe	Al	Ca	Сумма определяемых примесей
Кр0	98,8	0,5	0,4	0,4	1,2
Кр1	98,0	0,7	0,7	0,6	2,0
Кр2	97,0	1,0	1,2	0,8	3,0

1.48. Химический состав никеля в % (ГОСТ 849—70)

Марка	Ni + Co, не менее	В том числе Co, не более	Примеси, не более							
			C	Mg	Al	Si	P	S	Mn	
H-0	99,99	0,005	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
H-1y	99,93	0,10	0,01	0,001	—	0,002	0,001	0,001	—	—
H-1	99,93	0,10	0,01	0,001	—	0,002	0,001	0,001	—	—
H-2	99,8	0,15	0,02	—	—	0,002	—	0,003	—	—
H-3	98,6	0,7	0,10	—	—	—	—	0,03	—	—
H-4	97,6	0,7	0,15	—	—	—	—	0,04	—	—

Марка	Примеси, не более								
	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Pb	Bi
H-0	0,002	0,001	0,0005	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
H-1y	0,01	0,015	0,0008	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
H-1	0,01	0,02	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
H-2	0,04	0,04	0,005	—	—	—	—	—	—
H-3	—	0,6	—	—	—	—	—	—	—
H-4	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—

1.49. Химический состав кадмия в % (ГОСТ 1467—67)

Марка	Cd, не менее	Примеси, не более						
		Pb	Zn	Cu	Fe	Ti	Ni	Всего
Кд-00	99,997	0,0005	0,0009	0,00028	0,0005	0,0001	0,0001	0,003
Кд-0	99,95	0,02	0,004	0,01	0,002	0,008	0,002	0,05
Кд-1	99,93	0,03	0,005	0,015	0,004	0,015	—	0,07
Кд-2	99,83	0,05	0,01	0,02	0,01	0,08	—	0,17

1.50. Химический состав металлического марганца в %

Марка	Mn, не менее	Примеси, не более							Всего
		Si	P	Al	Fe	Cu	C	S	
Мр00	99,95	—	0,005	—	—	—	0,02	0,01	0,05
Мр0	99,70	—	0,01	—	—	—	0,10	0,10	0,30
Мр1	95,0	0,8	0,05	—	2,5	—	0,10	—	5,0
Мр2	93,0	1,8	0,07	—	3,0	—	0,20	—	7,0
Мр3	91,0	3,5	0,45	1,0	2,0	2,5	0,12	—	9,0
Мр4	88,0	4,0	0,50	1,5	3,0	4,0	0,15	—	12,0

1.51. Химический состав лития в % (ГОСТ 8774—58)

Марка	Li, не менее	Примеси, не более								
		K	Na	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	Кремне-кислота	Азот (нитрид-ный)
ЛЭ-1	98	0,2	0,8	0,3	0,05	0,03	0,01	0,005	0,2	0,05
ЛЭ-2	97	0,3	1,0	0,5	0,10	0,05	0,03	0,020	0,4	0,20

1.52. Химический состав силумина в чушках в % (ГОСТ 1521—68)

Марка	Основные компоненты		Примеси, не более					
	Al	Si	Fe	Mn	Ca	Ti	Cu	Zn
СИЛ-00	Основа	10—13	0,20	0,05	0,07	0,05	0,03	0,08
СИЛ-0			0,35	0,10	0,10	0,10		
СИЛ-1			0,50	0,5	0,10	0,15		
СИЛ-2			0,70	0,5	0,20	0,20		

Большинство легирующих элементов, особенно тугоплавких, вводят в алюминиевые сплавы в виде соответствующих лигатур. Лигатуры имеют более низкую температуру плавления, чем вводимые компоненты, что снижает угар и повышает производительность печей. Состав и температурные режимы приготовления некоторых лигатур приведены в табл. 1.53.

Для получения многокомпонентных сплавов, имеющих в составе тугоплавкие элементы и элементы, плотность которых значительно отличается друг от друга, рекомендуется готовить предварительные сплавы с использованием указанных ранее шихтовых материалов. В этом случае плавка рабочего сплава, например сплавов АЛ19, В2243 и т. д., сводится к расплавлению чушек предварительного сплава известного химического состава и лигатур, необходимых для подшихтовки.

1.53. Режимы приготовления лигатур

Лигатура	Леггирующий компонент	Содержание в %	Температура в °C		
			присадки леггирующего компонента	разливы лигатур	плавления
Al—Be	Be	2—4	800—850	800—850	720—820
Al—Cr	Cr	2—4	1000—1100	900—950	750—820
Al—Cu	Cu	45—55	800—850	700—750	575—600
Al—Fe	Fe	6—11	1000—1100	900—950	850—900
Al—Mn	Mn	7—12	900—1000	850—900	780—800
Al—Ni	Ni	18—22	950—1000	850—900	780—820
Al—Si	Si	18—22	800—900	750—800	650—700
Al—Ti	Ti	2—4	1100—1200	950—1000	900—950
Al—V	V	2—4	1100—1200	950—1000	780—900
Al—Zr	Zr	2—4	1100—1200	1000—1100	950—1050
Al—Cu—Mn—Ti	Cu	30	1200	1100	—
	Mn	5	1100—1200	1000—1100	—
	Ti	2	1200	1100	—

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ШИХТЫ

Для расчета шихты необходимо знать химический состав всех исходных шихтовых материалов и приготовляемого сплава. Кроме того, необходимо учесть угар элементов, который зависит от состояния шихты, конструкции и типа плавильного агрегата (табл. 1.54), а также от методики ведения плавки, способа рафинирования и т. д.

1.54. Угар элементов в % (приблизительный) в зависимости от условий плавки и состояния шихты

Элементы	Шихта			
	свежая		сильно окисленная	
	при плавке в печи			
	электрических и тигельных	отражательных пламенных	электрических и тигельных	отражательных
Ca	1—2	2—3	2—3	3—5
Mg	2—3	3—5	3—5	3—10
Be	2—3	5—7	3—5	5—10
Al	0,5—1	2—3	1—2	3—5
Zr	0,5—1	3—5	3—5	5—10
V	2—3	3—5	3—5	5—10
Ti	0,5—1	2—5	1—2	5—10
Na	2—3	3—5	3—5	5—10
Cr	0,5—1	1—2	2—3	4—5
V	0,5—1	1—2	1—2	2—3
Zn	1—3	2—4	2—3	3—5
Mn	0,5—1	2—5	1—2	5—10
Sn	0,5—1	0,5—1,5	0,5—1	1—2
Fe	0,5—1	0,5—1	0,5—1	0,5—1
Ni	0,5—1	0,5—1,5	0,5—1	0,5—1,5
Si	0,5—1,5	2—5	0,5—1	5—10
Cu	0,5—1	1—2	1—2	2—3
Сс и мишметалл	0,5—1	1—2	1—2	2—3

Ниже приведен упрощенный расчет шихты сплава АЛ5. Средний химический состав сплава АЛ5: 5% Si; 0,4% Mg; 1,25% Cu, остальное — алюминий. Расчет — на 100 кг сплава. Угар элементов: 1% Si; 3% Mg; 1% Cu и 1% Al.

Количество шихтовых материалов, на которое надо увеличить массу шихты для компенсации угара отдельных элементов, составит:

$$\frac{5 \times 1}{100} = 0,05 \text{ кг};$$

магния

$$\frac{0,4 \times 3}{100} = 0,012 \text{ кг};$$

меди

$$\frac{1,25 \times 1}{100} = 0,012 \text{ кг};$$

алюминия

$$\frac{93,35 \times 1}{100} = 0,933 \text{ кг}.$$

Расчетные данные можно свести в таблицу (табл. 1.55).

1.55. Расчет шихты сплава АЛ5

Параметры	Si	Mg	Cu	Al	Всего
Средний химический состав сплава в %	5,0	0,4	1,25	93,35	100
Масса на 100 кг шихты в кг	5,0	0,4	1,25	93,35	100
Угар:					
в %	1,0	3,0	1,0	1,0	
в кг	0,05	0,012	0,012	0,933	1,007
Состав шихты в кг	5,05	0,412	1,262	94,283	101,007

Определим необходимое количество чушкового силумина и лигатур. Следует ввести силумина (13% Si)

$$\frac{5,05 \times 100}{13} = 38,85 \text{ кг};$$

содержание алюминия в силумине составит

$$38,85 - 5,05 = 33,8 \text{ кг}.$$

Необходимо ввести алюминиевомагниевого лигатуры (10% Mg)

$$\frac{0,412 \times 100}{10} = 4,12 \text{ кг};$$

содержание алюминия в лигатуре

$$4,12 - 0,412 = 3,708 \text{ кг};$$

алюминиевомедной лигатуры (50% Cu)

$$\frac{1,262 \times 100}{50} = 2,524 \text{ кг};$$

она содержит 1,262 кг алюминия.

Количество чушкового алюминия, которое необходимо ввести в шихту:

$$94,283 - (33,8 + 3,708 + 1,262) = 55,513 \text{ кг}.$$

Таким образом, для выплавки 100 кг сплава АЛ5 потребуется исходных материалов (в кг):

чушкового алюминия	55,513
силумна	38,85
лигатуры алюминиевомедной	2,524
лигатуры алюминневомагниевоы	4,12

В с е г о 101,007

ПЛАВКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

1. ПЕЧИ

В зависимости от назначения сплавов, масштаба производства и условий литейных цехов плавку алюминиевых сплавов осуществляют в различных плавильных печах (табл. 1.56).

Тигельные печи

Конструкция стационарных тигельных печей проста и состоит из следующих элементов:

металлического кожуха из листового железа;

кирпичной огнеупорной кладки с многослойными прокладками теплоизоляционных материалов (листового асбеста, насыпного промежуточного слоя), расположенными между кожухом и огнеупорной кладкой;

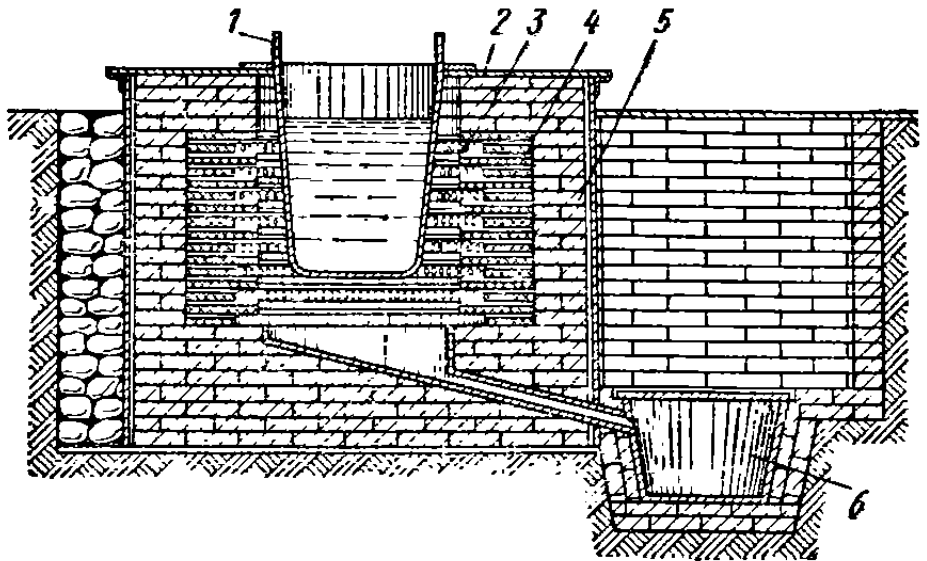


Рис. 1.39. Электрогорн:

1 — железный тигель; 2 — кожух; 3 — нихромовая спираль; 4 — огнеупорный кирпич; 5 — красный кирпич; 6 — приемник для сплава на случай прорыва

форсунок, в случае газового обогрева; нагревательных элементов, расположенных в пазах, в случае электрообогрева; графитового или чугунного тигля.

К этому типу печей можно отнести электрогорн (рис. 1.39).

Иногда применяют передвижные тигельные неповоротные печи, которые передвигаются при помощи роликов, смонтированных внизу печи (рис. 1.40).

Наиболее ответственной частью печей является тигель. Качество и стойкость тигля зависят от материала и способа его изготовления.

Для плавки алюминиевых сплавов применяют графитовые, чугунные тигли и набивные — из так называемого жароупорного бетона следующего состава: магнезит 22—26%, шамотный песок 10—11%, шамотная крошка 20—22%, шамотный щебень 30—31%, жидкое стекло 12—13%, кремнефтористый натрий 2%.

Чугунные тигли более стойки, но их недостаток заключается в том, что они способствуют обогащению алюминиевых сплавов железом.

Для предотвращения разъедания тигель перед плавкой рекомендуется смазывать краской, состоящей из 60% мелкого кварцевого песка,

Типы печей и их применение	Особенности печей	
	положительные	отрицательные
Тигельные поворотные печи с газовым нагревом для плавки сплавов, требующих модифицирования	Легко осуществлять переход от приготовления одного сплава к другому, рафинирование сплава любыми средствами, модифицирование и замораживание; небольшой процент угара металла (0,5—1%)	Невысокая производительность (не более 200 кг/ч); сравнительно частая смена тиглей; повышенный расход топлива (табл. 1.57); возможность аварии из-за порчи тигля; обогащение сплава железом
Электротигельные печи, в основном для плавки сплавов типа АЛ8, АЛ9, АЛ13, АЛ19 и др.	Простота обслуживания; низкий угар металла (до 1%); большая маневренность при переводе производства с одного сплава на другой	То же, и еще повышенный расход электроэнергии
Стационарные пламенные печи для переплавки крупногабаритных отходов и стружки	Простота обслуживания; большая емкость (до 30 т металла) позволяет переплавлять любые отходы, в том числе и стружку, под флюсом и рафинировать металл хлором; длительная эксплуатация без ремонта (до 6 мес)	Большая продолжительность сушки новой футеровки; повышенный угар металла (до 5%) и расход топлива (табл. 1.58); местный перегрев металла; трудность тщательного перемешивания расплава; неудобство при переходе с одного сплава на другой
Печи сопротивления ванного типа для приготовления рабочего сплава	Большая емкость (до 10 т); длительная эксплуатация без ремонта (до 6 мес); малый угар металла (до 1,5%); получение сплава повышенного качества (с малым загрязнением по железу)	Продолжительная сушка новой футеровки (до 1 мес); невозможность рафинирования сплава хлорсодержащими веществами и ведения плавки под флюсом; высокий расход электроэнергии (500—600 кВт·ч); частая смена нагревателей
Индукционные печи со стальным сердечником для крупносерийного производства отливок	Большая емкость (до 10 т); высокая производительность (до 1500 кг/ч); длительная работа без ремонта; малый расход энергии (около 450 кВт·ч); возможность рафинирования сплава в печи; получение сплава высокого качества с минимальной пористостью	Большая трудоемкость изготовления футеровки; каналы в нижней части ванны усложняют выполнение футеровки и требуют аккуратной загрузки печи чушковым металлом

30% огнеупорной глины и 10% жидкого стекла или 60% магнезитового порошка (зерна не более 0,5 мм), 20% огнеупорной глины, 10% графита и 10% жидкого стекла.

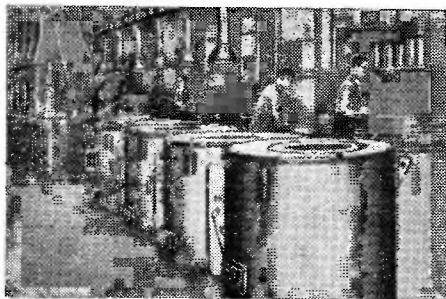


Рис. 1.40. Тигельные передвижные электропечи

Кроме того, может быть рекомендована паста: 16,5% окиси циркония; 8,5% бентонита; 75% воды.

Основные характеристики тигельных печей приведены в табл. 1.57.

Отражательные пламенные печи ванного типа

Пламенные отражательные печи имеют большие размеры, поэтому они удобны для переплавки крупногабаритных отходов. Для нагрева их можно использовать любое местное топливо. В этих печах можно

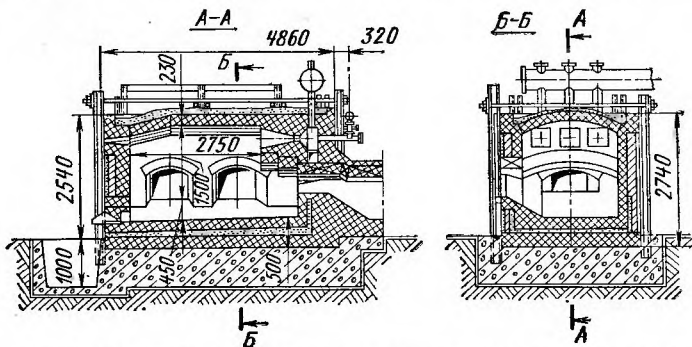


Рис. 1.41. Пламенная печь для плавки алюминиевых отходов емкостью 7 т, работающая на генераторном газе

осуществлять плавку под флюсом и рафинирование жидкого сплава хлором и хлористыми солями.

Печь емкостью 7 т (рис. 1.41) имеет глубокую ванну, позволяющую производить рафинирование жидкого сплава. Печь нагревается природ-

1.57. Основные характеристики тигельных печей (газовых) для плавки и подогрева алюминиевых сплавов

Тип	Марка	Емкость в т	Средняя произво- дительно- сть в кг/ч	Расход		Размеры в мм длина × ширина	Высота в мм		Размеры зонты в мм
				топлива в кг/ч	воздуха в м ³ /ч		над уровнем пола	общая	
Плавильная одностигельная поворотная . . .	ПТП-0,18	0,18	120	30	400	1240×1000	1080	1080	Диаметр 1640 Диаметр 1700
	ПТП-0,25	0,25	150	40	500	1300×1000	1350	1350	
Раздаточная двухстигельная стационарная	РТС-0,30	0,30	—	20, подогрев	250	2100×1150	480	1000	2500× ×1450
Раздаточная одностигельная стационарная	РТС-0,15	0,15	—	15	200	1300×1150	480	1000	Диаметр 1700

ным газом, нефтью, мазутом и отличается большой производительностью (до 17 т в сутки).

Для печей ванного типа обычно применяют форсунки высокого давления, в которые воздух подается от специального компрессора под давлением до 6 ат. Расход мазута сильно зависит от регулирования работы форсунки.

Расход мазута для первых плавов в пламенных печах довольно велик, он составляет до 30% массы выплавленного металла, затем расход мазута понижается до 15—20%. Колебания расхода мазута зависят от конструкции печи и состояния шихты (табл. 1.58).

Новую печь при пуске следует хорошо прогреть, сжигая дрова, положенные на под печи. Сушку и разогрев печи следует выполнять медленно, чтобы не допустить образования трещин в футеровке печи.

Следует отметить, что для кокильного литья рекомендуется плавно-раздаточная печь. Особенностью такой печи является раздаточный карман, выходящий из общей камеры печи.

Зеркало ванны внутри камеры печи постоянно покрыто модифицирующими солями, что позволяет вести непрерывную разливку сплава модифицированного состояния.

Раздаточный карман, свободный от модифицирующих солей или другого покровного флюса, создает удобства для разливки сплава. Раздаточный карман снабжен крышкой, которая с помощью педального рычажного механизма открывается для взятия очередной порции сплава, чем обеспечиваются хорошие гигиенические условия труда литейщика.

Печи сопротивления

Наиболее качественный жидкий металл получают в печах сопротивления типа САН.

Печи типа САН. С целью увеличения производительности нагревательные элементы в печах стали располагать не только в средней камере, но и в сводной части боковых камер, которые служат для загрузки шихты, нагреваемой до оплавления. По мере плавления шихты металл стекает в среднюю камеру печи для дальнейшего нагрева до температуры разливки.

Подина и боковые стенки плавильного пространства состоят из теплоизолирующих футерованных огнеупорных слоев (асбеста, инфузорной земли, шамотного кирпича, магнезитового кирпича), а на подину наносят еще магнезитовый набивной верхний слой.

Свод печи, в свою очередь, состоит из теплоизолирующих верхних слоев, затем из фасонных кирпичей, которые имеют специальные пазы (гнезда) для крепления нагревательных элементов.

Слив готового сплава осуществляют через отверстие (летку) при повороте печи от электродвигателя при помощи двух реек, скользящих по роликам.

Температура плавильного пространства и жидкого сплава регулируется автоматически.

В промышленности применяют печи САН различных емкостей, чаще всего емкостью от 500 до 3000 кг. Производительность их зависит от размеров плавильного пространства и колеблется от 150 до 600 кг/ч. Мощность также в зависимости от размеров колеблется от 100 до 300 кВт. Такие печи дают пять плавов в сутки.

1.58. Основные характеристики отражательных нефтяных печей для плавки алюминиевых сплавов и отходов

Марка	Емкость печи в т	Объем плавильной ванны в м ³	Площадь зеркала ванны в м ²	Расход		Давление воздуха в мм вод. ст.	Средняя производительность печи в кг/ч	Габаритные размеры в мм		
				топлива в кг/ч	воздуха в м ³ /ч			длина × ширина	высота	
									над уровнем пола	общая
НОП-1	1,0	0,45	3,0	50	590	200—300	400	—	—	—
НОП-2	2,0	0,8	3,5	90	1000	400—500	800	—	—	—
НОП-3	3,0	1,1	3,35	80	1000	400	500 (переплавка стружки)	6000 × 2500	2000	3500
НОП-7	7,0	2,8	7,0	100	1200	400—500	800 (то же)	8000 × 3500	3500	4500
НОП-12	12,0	5,0	10,8	144	1750	800	1200 (то же)	9000 × 6000	3700	5000

Нагревательные элементы состоят из отдельных металлических спиралей, которые вставляют в специальные пазы, имеющиеся в кирпичном своде. Нагревательные элементы крепят так, чтобы в любой момент плавки можно было заменить каждую спираль в случае ее порчи.

Для защиты металлического сопротивления от брызг металла или флюса установлены специальные экраны из нихромового листа или гофра. Однако эти экраны в значительной мере влияют на удлинение цикла плавки, поэтому в последних конструкциях печей подобного типа экраны не устанавливаются. Основным отличием последних конструкций является расположение нагревательных элементов. Форкамеры у них длиннее форкамеры печи САН, но они имеют короткую и глубокую среднюю сборную камеру. Футеровка аналогична футеровке печи САН.

С торцевых сторон расположены загрузочные окна, где температура доходит до 900° С. По мере расплавления сплав стекает по крутому наклонному поду в среднюю камеру, где поддерживается температура не выше температуры литья (750—830° С). Расход электроэнергии на 1 т сплава в печах обоих типов практически примерно одинаков; он колеблется между 550—650 кВт·ч в зависимости от назначения и продолжительности разливки.

Эти печи могут быть непрерывного и периодического действия, стационарными при мелком литье в кокиль и под давлением и поворот-

1.59. Характеристика печей сопротивления (тигельных)

Тип и марка	Емкость в кг	Мощность трансформатора в кВт	Расход электроэнергии на 1 т жидкого металла в кВт·ч	Масса металлической конструкции печи в кг	Габаритные размеры в мм	Высота до уровня пола в мм
Для плавки сплавов						
Поворотная:						
САТ 0,15А . .	150	40	550— 600	960	1750×1340×2300	—
САТ 0,25А . .	250	60	550— 600	1170	1870×1440×2380	—
САТ 0,5А	500	80	550— 600	1570	2000×1590×2620	—
Стационарная:						
САТ 0,15Б . .	150	40	550— 600	610	2000×1200×2090	960
САТ 0,25Б . .	250	60	550— 600	830	2200×1300×2050	760
САТ 0,5Б . . .	500	80	550— 600	1120	2430×1500×2340	1040
Для подогрева сплавов						
Стационарная:						
САТ 0,15В . .	150	30	110	560	1500×1380×1050	—
САТ 0,25В . .	250	40	110	610	1500×1380×1050	—

1.60. Характеристика печей сопротивления
для плавки алюминиевых сплавов

Марка	Емкость в кВ	Потреб- ляемая мощ- ность в кВт	Число тепло- вых зон	Произ- води- тель- ность в кг/ч	Число нагре- ватель- ных спи- ралей	Расход электро- энер- гии на 1 т в кВт·ч
САК-0,15	150	40	1	50	12	650
САК-0,25	250	82	2	75	18	600
САН-0,3А	300	92	2	125	27	600
САН-0,5А	500	122	2	150	30	600
САН-1А	1000	184	3	225	45	600
САН-1,5А	1500	244	4	350	60	550
САН-2А	2000	305	5	500	75	550
САН-3А	3000	410	3	650	72	550
ПК-40	150	40	—	—	—	—
ПК-90	300	90	—	—	—	—
ПК-120	500	120	—	—	—	—
САМ-0,5	500	40	—	—	—	45—50
САМ-1	1000	80	—	—	—	35—40

Марка	Продолж- тельность плавки в ч	Габаритные размеры ванны в мм	Масса металли- ческих конструк- ций в кг	Габаритные размеры в мм
САК-0,15	2,0—3,0	700×750× ×200	1 227	1800×1782—
САК-0,25	2,0—2,5	1200×790× ×220	1 965	2410×2260× ×2057
САН-0,3А	2,0—2,5	1010×1300× ×280	5 200	3000×2240× ×2800
САН-0,5А	2,5—3,0	1200×1340× ×260	7 133	3960×2900× ×3094
САН-1А	3,0—3,5	1200×2200× ×300	8 610	5440×3100× ×3160
САН-1,5А	3,5—4,0	1200×2800× ×350	9 340	6000×2600× ×3160
САН-2А	3,5—4,0	1200×3600× ×350	11 165	7925×3600× ×3160
САН-3А	4,0—4,5	1500×3960× ×400	22 550	7600×2900—
ПК-40 ПК-90 ПК-120 САМ-0,5 САМ-1	Раздаточные	—	—	—
		—	—	—
		—	—	—
		—	—	—
		—	—	—

ными при литье больших деталей. В печах периодического действия готовят так называемый предварительный сплав, где цикл плавки состоит из загрузки шихты, плавки и одновременной разливки всего расплавленного сплава. В печах непрерывного действия обычно подогревают жидкий сплав до температуры литья и поддерживают эту температуру.

Печи типа САК и САТ. Для плавки алюминия и алюминиевых сплавов широко применяют печи сопротивления типов САК и САТ соответственно емкостью 150—250 и 150—500 кг. Печи нагреваются нихромовыми или хромалевыми спиралями, заложенными в специальные пазы свода.

Печи типа САК являются стационарными, неповоротными, раздаточными и применяются прежде всего для кокильного литья.

Печь имеет отделения — плавильную камеру и металлосборник. Со стороны плавильной камеры расположено загрузочное окно, со стороны металлосборника — раздаточное отверстие.

Основные технические данные печей типов САТ, САК и САН приведены в табл. 1.59 и 1.60.

Футеровка печей сопротивления

Подина металлоприемника состоит из асбестовых листов толщиной 5—7 мм, слоя инфузорной земли толщиной 40 мм, слоя шамотных кирпичей и слоя шамотной или магнезитовой набивки толщиной 30 мм. Например, шамотная набивка состоит из 45% шамотной глины, 50% битого шамота, 2—3% песка, остальное — битое стекло. Иногда в качестве связующего материала добавляют 2—3% борной кислоты или буры. Подину форкамеры выкладывают примерно так же. Стенки печи выкладывают шамотным кирпичом. Между слоем кирпича и металлическим кожухом располагают асбест и делают засыпку слоем инфузорной земли.

Свод печи выкладывают из фасонных кирпичей, образующих гнезда для элементов сопротивления. Фасонные кирпичи замазывают шамотной глиной, засыпают слоем инфузорной земли и покрывают асбестом.

Теплоизоляция и огнеупорная футеровка должны быть такими, чтобы при температуре плавильного пространства 850° С температура наружного кожуха не превышала 50—60° С.

Чугунные задвижки загрузочных и смотровых окон футеруют с внутренней стороны легковесным теплоизоляционным кирпичом.

Длительность цикла работы печи сопротивления для плавки легких сплавов зависит прежде всего от состояния свода печи. Практика эксплуатации печей показывает, что основные дефекты сводов получаются вследствие разрушения свода из-за пробоя током (короткое замыкание) и растрескивания фасонных кирпичей.

Для устранения возможности пробоя током увеличивают расстояние между спиралями на 60% по сравнению с обычно принятыми расстояниями в печах типа САН и т. п.

Для устранения второй причины, а также для приближения нагревателей к поверхности ванны, увеличения излучающей поверхности и устранения заэкранивания нагревателей гребешками футеровки с целью снижения расхода электроэнергии и ускорения плавки был изменен способ крепления нагревателей в печах ванного типа. Если

раньше нагреватель в виде круглой проволочной спирали укладывали в гнезда, образуемые непосредственно фасонными кирпичами свода, то сейчас от такого расположения нагревателей отказались. В настоящее время в гнездо вставляют головки специальных алундовых подвесок, на которых монтируют плоские ленточные или круглые спирали нагревателей.

Питающие шины, концы нагревателей, перемычки, последовательно соединяющие концы двух спиралей, выводят в дополнительные боковые камеры печи. В этом случае достигается лучшая тепловая изоляция свободных зазоров между бортами печи.

Индукционные печи

Индукционные печи со стальным сердечником (рис. 1.42) имеют высокие технико-экономические показатели, поэтому их широко применяют для плавки медных сплавов (бронз, латуней) и других цветных сплавов. Успешное применение этих печей в значительной мере зависит от подбора и изготовления футеровки канала печи, в котором находится жидкий сплав.

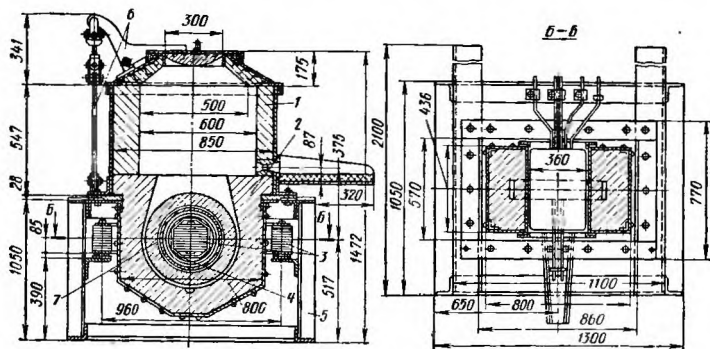


Рис. 1.42. Вертикальная индукционная печь:

1 — верхняя часть печи с ремонтной и рабочей крышками; 2 — нижняя часть печи; 3 — магнитная система; 4 — первичная обмотка трансформатора; 5 — постамент; 6 — механизм подъема рабочей крышки; 7 — защитный водоохлаждаемый экран

Однако специфичность алюминия (быстрая окисляемость и большая плотность окиси алюминия) требует создания специальной конструкции канала, являющегося вторым витком печного трансформатора. Дело в том, что образующаяся окись алюминия, будучи тяжелее металла, опускается в подовый канал, прилипает к его стенкам и вызывает быстрое зарастание канала. Поэтому при освоении индукционных печей с железным сердечником для плавки в них алюминия требуется создание таких условий, которые не вызвали бы разрушения поверхностной пленки в устьях каналов вследствие движения металла, взаимодействия окиси алюминия со стенками подовых каналов и затрудняли бы вообще попадание окиси алюминия в каналы.

1.61. Характеристика индукционных печей типа ИПА с чугунным тиглем

Марка	Емкость тигля (по алюминию) в кг	Время плавки в мин	Мощность в кВт	Напряжение сети в В	Частота тока в Гц	Сила тока сети (средняя) в А	Мощность конденсаторной батареи в кВт	Габаритные размеры в мм	Масса печи в кг
ИПА-100	100	45	70	220	50	260	190	1260×1275× ×1100	960
ИПА-250	250	110	80	380		270	190	1390×1520× ×1600	1780
ИПА-500	500	110	120	380		400	350	1450×2000× ×2000	2400

Примечание. Охлаждение индуктора печи водяное.

1.62. Характеристика индукционных канальных печей для плавки алюминиевых сплавов

Марка	Рабочая емкость в т	Емкость «болота» в т	Производительность в т/ч	Время плавки в ч	Потребляемая мощность в кВА	Расход электроэнергии в кВт·ч	Число каналов	Число фаз	Габаритные размеры в мм
ИАК-0,4	0,5	0,3	0,22	1,54	125	320	1	1	1900×2585× ×3925
ИАК-1	1,0	0,45	0,52	1,4	250	360	2	1	2200×3990× ×3500
ИАК-2,5	2,5	—	1,1	—	500	—	—	—	—
ИАК-6	6,0	3,0	1,7	3,4	1100	425	4	3	3500×5325× ×7500

В индукционных печах со стальным сердечником в устьях отверстий каналов поверхность сплава сильно колеблется. Эти колебания потухают по мере увеличения высоты жидкой ванны, находящейся в шахте печи, и увеличения устьев каналов.

При определенной высоте жидкой ванны и конструкции канала поверхность жидкого сплава находится в довольно спокойном состоя-

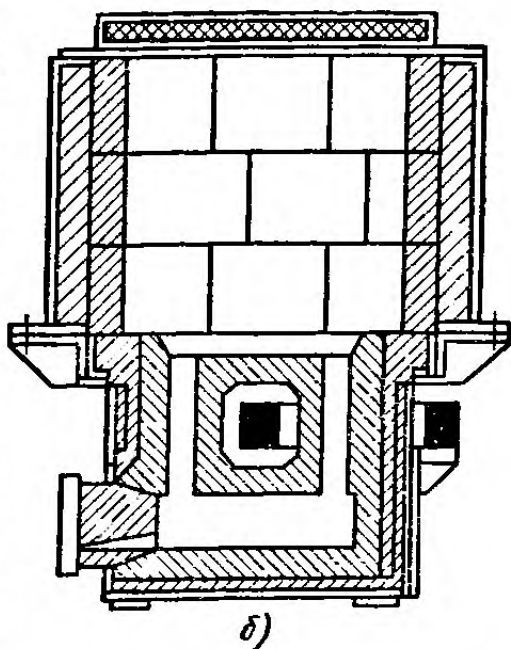
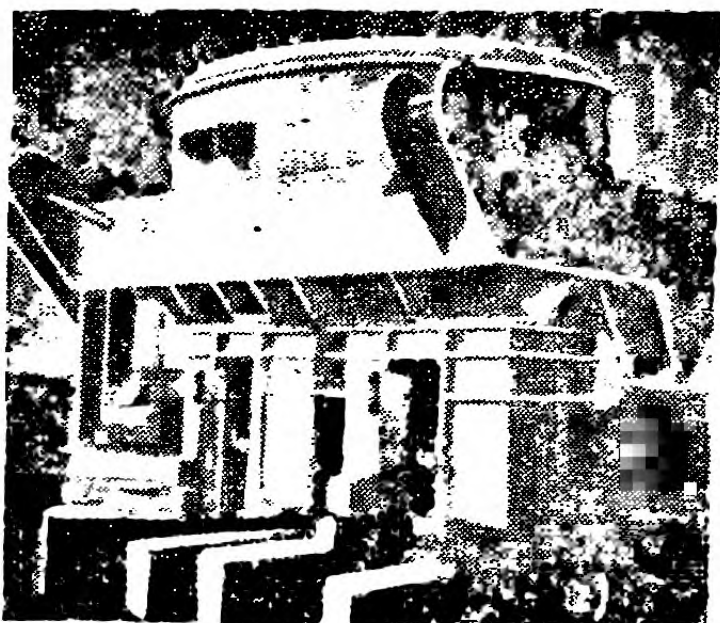


Рис. 1.43. Индукционная печь мощностью 500 кВт (а) и разрез индукционной печи с прямоугольным каналом (б)

нии, окисная пленка алюминия сохраняет сплошность и тем самым предохраняет металл от дальнейшего окисления.

В качестве облицовочной футеровки обычно используют шамот, кварцит, фарфор или корунд. Однако все эти материалы взаимодействуют с окисью алюминия.

На ряде заводов применяют печи с прямоугольной формой каналов. Такое сечение каналов увеличивает расход электроэнергии до 30% по сравнению с печами, имеющими каналы круглой формы (рис. 1.43).

Ниже приводятся сравнительные характеристики различных типов печей (табл. 1.61 и 1.62).

2. ВЕДЕНИЕ ПЛАВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Весь процесс приготовления жидкого сплава с доводкой его до разливки в формы можно разделить на следующие основные этапы: пуск печей, приготовление шихты и ее загрузка, плавка (приготовление сплавов, рафинирование, в некоторых случаях и модифицирование).

Пуск печей

Новые печи перед пуском необходимо хорошо просушить, а затем нагреть до 900°C .

Сушить следует с такой скоростью, чтобы равномерно медленно прогреть всю футеровку печи и тем самым избежать образования в ней трещин. Эта операция чрезвычайно важна, так как в значительной мере

предрешает длительность эксплуатации печей. Чем сложнее конструкция печи и чем больше ее размеры, тем продолжительнее должна быть сушка печи.

Если сушка печи тигельного типа требует одних суток, то печи сопротивления и в особенности низкочастотные индукционные печи требуют на сушку нескольких дней. Чем полнее будет проведен цикл сушки и больше будет удалено из футеровки влаги, тем менее пористыми будут отливки.

Для ликвидации пористости в отливках (вследствие влажности футеровки) на сушку печи требуется не менее недели, так как адсорбированную влагу удаётся удалить сравнительно легко, а на удаление кристаллизационной влаги требуются недели. Первоначальную сушку футеровки печи обычно производят сжиганием дров, затем после хорошего прогрева футеровки сушку и разогрев печи осуществляют форсункой при нефтяном или газовом нагреве или включением электродов на неполную мощность.

Загрузка

Первые несколько десятков плавов рекомендуется проводить для переплавки отходов. Сначала загружают чушковые металлы, затем крупные отходы и тугоплавкие лигатуры, а также бракованные детали. По расплавлению всей шихты в сплав дают присадки легкоплавких металлов.

В печи сопротивления ванного типа шихту загружают в форкамеры, где ее укладывают в виде штабелей, которые по мере расплавления и осадки вновь пополняют. В первый ряд чушек укладывают свежие металлы. Мелкие и загрязненные отходы загружают в последнюю очередь.

Образующийся в форкамерах жидкий металл ручейками стекает в сборную камеру. Тугоплавкие лигатуры вводят непосредственно в ванну после расплавления $\frac{1}{3}$ массы шихты, а легкоплавкие лигатуры — только в конце плавки, когда металл уже готов в разливке.

Шихту загружают так, чтобы исключить повреждения нагревателей (при загрузке в печи сопротивления).

Следует заметить, что твердую шихту в стационарные небольшие печи сопротивления, а также в пламенные печи загружают непосредственно в ванну жидкого металла.

3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЛИГАТУР

Тугоплавкие компоненты, например медь, никель, марганец, титан и др., вводят в алюминиевые сплавы в виде двойных и тройных лигатур — сплавов, имеющих промежуточные составы.

Эти лигатуры могут быть получены путем электролиза, алюмотермического процесса или непосредственным сплавлением алюминия с другим каким-либо металлом. Методом электролиза наиболее часто изготовляют высококремнистые алюминиевые сплавы типа силумин. Все остальные лигатуры обычно изготовляют непосредственным сплавлением ($Al + Cu$, $Al + Mn$, $Al + Fe$, $Al + Cr$ и т. д.).

Основные технологические указания по изготовлению типичных лигатур приведены в табл. 1.63—1.66.

1.63. Основные технологические указания по приготовлению лигатур Al + Cu и Al + Cu + Ni

Операции	Лигатуры		Примечание
	50% Al + 50% Cu или 67% Al + 33% Cu	70% Al + 20% Cu + 10% Ni	
Составление шихты	Алюминий А7 или А8, медь М1, М2 или М3	Алюминий А7 или А8, медь М1, М2 или М3 и никель Н-0, Н-1	Для исследовательских целей рекомендуется применять исходные металлы более высокой чистоты
Выбор плавильной печи и ее подготовка	Печи САН и САТ Футеровка должна быть тщательно очищена после предыдущей плавки	Печи САН и САТ	Перед приготовлением лигатуры рекомендуется проводить переходные плавки с целью исключения загрязнения лигатуры другими металлами
Загрузка шихты	1. Чушкового алюминия (75% навески). 2. В алюминий, перегретый до температуры 850—1000° С, загружать подогретую медь. 3. Остаток чушкового алюминия с целью снижения температуры перегрева	1. Чушкового алюминия (75% навески). 2. В алюминий перегретый до температуры 950—1000° С, загружать подогретые куски меди и никеля	Медь и никель подогреть до температуры выше 300° С
Ведение плавки	Без флюса		—
Рафинирование	Обезвоженным хлористым цинком или хлористым марганцем в количестве 0,2% массы шихты	Обезвоженным хлористым цинком или хлористым марганцем	Или хлором по установленной технологии
Подготовка к разливке	При температурах 720—750° С сплав и снять шлак	тщательно перемешать	Перемешивать рекомендуется графитовым или алундовым прутком
Разливка лигатуры по изложницам	При температурах 720—750° С слоями не более 25 мм	разливать в изложницы	Чем тоньше слои, тем равномернее химический состав лигатуры

1.64. Основные технологические указания по приготовлению лигатур Al + Mn и Al + Si + Mn

Операции	Лигатуры		Примечание
	90% Al + 10% Mn	80% Al + 7% Mn + 13% Si	
Составление шихты	Алюминий А7 или А8, марганец Мр1	Алюминий А7 или А8, марганец Мр1, силумин СИЛ-0	Для исследовательских целей рекомендуется применять исходные металлы более высокой чистоты
Выбор плавильной печи и ее подготовка	Тигельные или индукционные печи. Футеровку печи тщательно очистить после предыдущей плавки		Перед приготовлением лигатуры особенно необходимо проводить переходные плавки, чтобы не допустить в лигатуру меди, цинка и других металлов
Загрузка шихты	1. Чушковый алюминий (75% навески). 2. В перегретый до температуры 900—1000° С алюминий загружать подогретый марганец. 3. Остаток алюминия с целью снижения температуры сплава	1. Чушковый алюминий (75% навески). 2. Силумин. 3. В перегретый до температуры 900—1000° С сплав загружать марганец. 4. Остаток алюминия	Марганец загружать мелкими порциями (куски с грецкий орех) с перемешиванием расплава после введения каждой порции марганца
Ведение плавки	Без флюса		—
Подготовка к разливке лигатуры	После введения всего количества марганца тщательно перемешать и снять шлак		Перемешивать графитовым прутком
Рафинирование	Обезвоженным хлористым марганцем в количестве 0,2% массы шихты		Или хлором по установленной технологии
Разливка лигатуры по изложницам	При температуре 800° С разливать в изложницы слоями не более 25 мм	При температуре 750° С разливать в изложницы слоями не более 25 мм	—

1.65. Основные технологические указания по приготовлению лигатуры Al—Ti

Операции	Способ приготовления		Примечание
	алюмотермический	сплавлением	
Подготовка шихтовых материалов	Просушка, измельчение, просеивание 50% окиси титана и 50% криолита. Смешение их. Алюминия берут из расчета 7 : 1 относительно массы окиси титана	Измельчение титана на кусочки диаметром 5—10 мм или изготовление титановой стружки	В обоих случаях шихту составляют из расчета содержания 5% титана в лигатуре
Выбор печи и температурные условия плавки	Графитовые тигли при температурах 1300—1500° С	Печи типа САН или тигельные печи при температурах 1000—1200° С	Алюмотермическая реакция протекает по следующему уравнению: $6TiO + 4Al = 2Al_2O_3 + 6Ti + 110\ 000$ ккал
Загрузка шихты и ведение плавки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Под слоем криолита алюминий перегревают до 1000—1200° С. 2. В жидкий алюминий вводят небольшими порциями смесь окиси титана с криолитом с помощью трубочки, опущенной через отверстие в тигель, находящийся в перевернутом положении над тиглем с шихтой. 3. Время от времени расплав в нижнем тигле перемешивают графитовым прутом 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расплавляется алюминий. 2. Жидкая ванна покрывается флюсом — криолитом. 3. В расплавленный алюминий вводят небольшими порциями куски или стружку титана. 4. Время от времени расплав энергично перемешивают графитовым прутом 	Алюмотермический метод является более трудоемким, но дает более точный состав лигатуры. Это объясняется тем, что металлический титан в жидком алюминии растворяется с большим трудом
Разливка лигатуры по изложницам	По окончании реакции удаляют второй тигель, лигатуру тщательно перемешивают, снимают шлак при температурах 850—900° С и разливают по изложницам слоями не более 25 мм	Лигатуру тщательно перемешивают, снимают шлак и разливают по изложницам	

1.66. Основные технологические указания по приготовлению бериллиевой лигатуры

Операции	Технологические указания	Примечание
Приготовление шихтовых материалов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Куски бериллия прогреть до полного удаления смазки, предохраняющей его от окисления. 2. Разрубить бериллий на куски диаметром 5—10 мм 	<p>Так как бериллий по плотности значительно легче алюминия, то мелкие куски или пыль будут всплывать и задерживаться во флюсе</p> <p>Большие куски бериллия способствуют удлинению плавки.</p> <p>В том и другом случае увеличивается угар бериллия. Поэтому наиболее рациональными являются куски величиной 6—8 мм</p>
Выбор печи и ее подготовка	Бериллиевую лигатуру наиболее рационально готовить в тигельных печах с температурой до 1200° С	
Ведение плавки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расплавить 75% чушкового алюминия (от массы шихты). 2. Расплав покрыть флюсом состава 90% $BaCl_2$ + 10% KCl. 3. Ввести мелкими порциями бериллий погружением колокольчика или ложки, имеющей бортики. Бериллий вводят из расчета 5% Be в лигатуре. 4. Время от времени расплав энергично перемешивать. 5. Загрузить последнюю порцию алюминия 	—
Рафинирование	При температуре 750—800° С сплав рафинируют обезвоженным хлористым цинком или хлористым марганцем в количестве до 0,2% массы шихты	—
Разливка	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тщательно перемешивают и удаляют шлак. 2. При температуре порядка 750—800° С лигатуру разливают по изложницам 	Полноту растворения бериллия проверяют по отсутствию во флюсе кусочков бериллия

Контроль качества лигатуры. Качество лигатуры определяют: по наружному осмотру чушек — чушки должны иметь чистую, ровную поверхность, без шлаковых и флюсовых включений; по излому чушек — излом чушек должен быть мелкозернистым, без заметной ликвации и шлаковых включений; по химическому анализу в соответствии с ТУ.

4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Для большинства алюминиевых литейных сплавов основные элементы технологии их приготовления имеют общий характер, поэтому технологические указания по приготовлению этих сплавов можно свести в одну таблицу (табл. 1.67). Чистые крупные отходы, литники,

1.67. Технология приготовления алюминиевых литейных сплавов

Операции	Сплав			
	АЛ4	АЛ5	АЛ7	АЛ22
Составление шихты из расчета номинального состава	9,25% Si 0,25% Mg 0,45% Mn Остальное Al	5% Si 1,25% Cu 0,5% Mg Остальное Al	4,5% Cu Остальное Al	13% Mg 0,8% Si 0,05% Be 0,05% Ti Остальное Al
Загрузка в печь по указанному порядку	Печь САН, 1) Алюминий 2) Силумин 3) Лигатура 4) Магний	тигельная, 1) Алюминий 2) Лигатура 3) Магний	индукционная, 1) Алюминий 2) Лигатура	кавальная, 1) Алюминий 2) Силумин 3) Бериллиевая и титановая лигатуры 4) Магний
Ведение плавки и рафинирование	После расплавления всей шихты сплав рафинируется обезжележенным хлористым цинком (но предпочтительнее хлористый марганец) в количестве 0,05—0,1% массы шихты, хлорируется или рафинируется инертными газами в соответствии с заводской инструкцией			
Модифицирование	Модифицирование ведется так, как это указано в табл. 1.72	—	—	—
Разливка по изложницам	Снимают модификатор и сплав разливают по изложницам или по формам	Сплав тщательно перемешивают, удаляют шлак и разливают по изложницам или формам		
		Температура разливки 720° С	Температура разливки 700° С	Температура разливки 680° С

бракованные детали допускаются в шихту без ограничения, но лишь после предварительного химического анализа и переплава в чушки. Плавку можно производить в любых печах, пригодных для плавки обычных алюминиевых сплавов.

На все сплавы вредно влияют примесь железа и газонасыщенность. Технология изготовления сплавов типа АЛ8 имеет ряд особенностей, поэтому она приведена отдельно (табл. 1.68).

1.68. Два способа приготовления сплава АЛ8

Способ	
№ 1	№ 2
<ol style="list-style-type: none"> 1. Загрузка чушкового алюминия и лигатур, содержащих бериллий и титан 2. По расплавлении первой порции шихты на поверхность ванны засыпают рафинирующий флюс (60% карналита + 40% фтористого кальция или плавикового шпата) в количестве 2% массы шихты 3. Загрузка крупных отходов сплава АЛ8. По расплавлении шихты под слой флюса вводят чушковый магний 4. Интенсивное замешивание кусков флюса в поверхностный слой жидкого слоя сплава горизонтальным вращением. Перемешивают до тех пор, пока сплав не будет иметь зеркальную поверхность, и жидкий сплав не будет хорошо отставать от кусков флюса 5. Разливка сплава по изложницам или в формы. Сплав рекомендуется разливать из чайникового ковша 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расплавление чушкового алюминия 2. Засыпка поверхности расплавленного металла флюсом — карналитом слоем 5—10 мм 3. Загрузка крупных отходов сплава АЛ8 4. При температуре 690—700° С введение кускового магния при помощи клещей 5. Осторожное перемешивание сплава без раскрытия его поверхностного слоя 6. При температуре 660—670° С разливка сплава по изложницам или в форму. Для этой цели рекомендуется использовать ковши типа чайникового, что способствует предотвращению попадания флюса в изложницу или в форму. Перед разливкой необходимо ковши тщательно очищать от ржавчины или других каких-либо налетов

При литье сплава АЛ8 необходимо предусматривать следующее:

- а) с целью предупреждения окисляемости отливки в формовочную смесь добавлять 4—5% борной кислоты и в стержневую смесь 1% борной кислоты;
- б) заполнение формы должно производиться через толстые места литниковых каналов;
- в) применение металлических сеток с ячейками диаметром 1,5—2 мм;
- г) применение холодильников для закаливания массивных мест отливки;
- д) усиленное питание отливки при кристаллизации.

Приготовление сплава АЛ8. По техническим условиям сплав АЛ8 должен иметь следующий химический состав: 9,5—11,5% Mg, не более 0,3% Si, 0,3% Fe, 0,3% Cu, 0,2% других примесей; всего примесей не более 1,3%: остальное — алюминий.

Примеси, как кремний и железо, являются весьма вредными: содержание их должно быть по возможности минимальным. Из этого следует, что для сплава АЛ8 рекомендуется применять алюминий, содержащий не более 0,15% Si, 0,15% Fe и не менее 99,7% Al. Указанным требованиям отвечают алюминий А8 (ГОСТ 11069—64) и магний по ГОСТ 804—72. Шихтуют сплав из расчета 11% Mg.

Сплав АЛ8 обычно готовят в тигельных плавильных печах, для чего наиболее часто применяют графитовые тигли, а также стальные или чугунные тигли, окрашенные составом из 25% окиси цинка + 25% мела + 5% жидкого стекла + 45% горячей воды или 25—35% графитового порошка + 5% жидкого стекла, остальное — вода.

Приготовление сплавов типа АЛ8 осуществляется двумя способами: а) с добавками бериллия (0,02—0,07%) и титана (0,02—0,07%) с применением рафинирующего флюса (табл. 1.68):

б) без добавок бериллия и титана плавку ведут под защитным флюсом — карналитом (56% хлористого магния и 44% хлористого калия).

Жидкий сплав АЛ8, не содержащий титана и бериллия, для заливки форм готовят следующим образом. В раскаленный графитовый тигель сначала загружают кусковой флюс с таким расчетом, чтобы после расплавления образовалась ванна глубиной 100—200 мм, в которую постепенно загружают слегка подогретые чушки сплава. В шихту можно добавлять крупные чистые отходы своего производства в неограниченном количестве, но только после предварительной переплавки в чушки под слоем флюса и с известным химическим составом. Когда расплавление нужного количества сплава закончено и достигнута необходимая температура, слой флюса вычерпывают и сливают в сухой железный противень, чтобы использовать флюс для новой плавки.

Затем поверхность сплава покрывают слоем свежего флюса толщиной 5—10 мм, который непрерывно возобновляют, как только начинает показываться поверхность сплава.

Флюс для плавки сплава АЛ8 готовят следующим образом. При отсутствии чистого естественного карналита составляют смесь из 44 частей сухого хлористого калия и 56 частей сухого хлористого магния. Обе соли в виде порошков смешивают и выпаривают при слабом разогреве в железном противне в течение 3—5 ч для отгонки кристаллизационной воды. Смесь вскоре становится жидкой, а затем вновь загустевает.

Смесь разламывают на куски и кладут в горячий тигель, а по расплавлении разливают в сухие железные противни. Такой переплавленный флюс весьма гигроскопичен и должен храниться в герметических сосудах, например в стеклянных банках с притертой пробкой. Часть флюса для присыпания сплава должна быть приготовлена в виде порошка.

5. ОЧИСТКА СПЛАВА ОТ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Основные способы получения сплава высокого качества можно подразделить на три группы: профилактические, рафинирующие и обезвреживающие.

К профилактическим способам очистки относят:

очистку шихтовых материалов от загрязнений, окислов и коррозионных скоплений;

применение в шихте чистых (по примесям) исходных материалов; ведение плавки без перегрева и за наиболее короткое время; применение защитных сред и флюса.

К рафинирующим способам относят способы:

удаления окислов и других твердых включений (флотация, отстаивание и т. д.);

удаления газов из сплава (продувка газами, обработка активными солями и ультразвуком, вакуумирование и т. д.).

К обезвреживающим способам следует отнести кристаллизацию сплавов под всесторонним давлением в автоклаве (рис. 1.44).

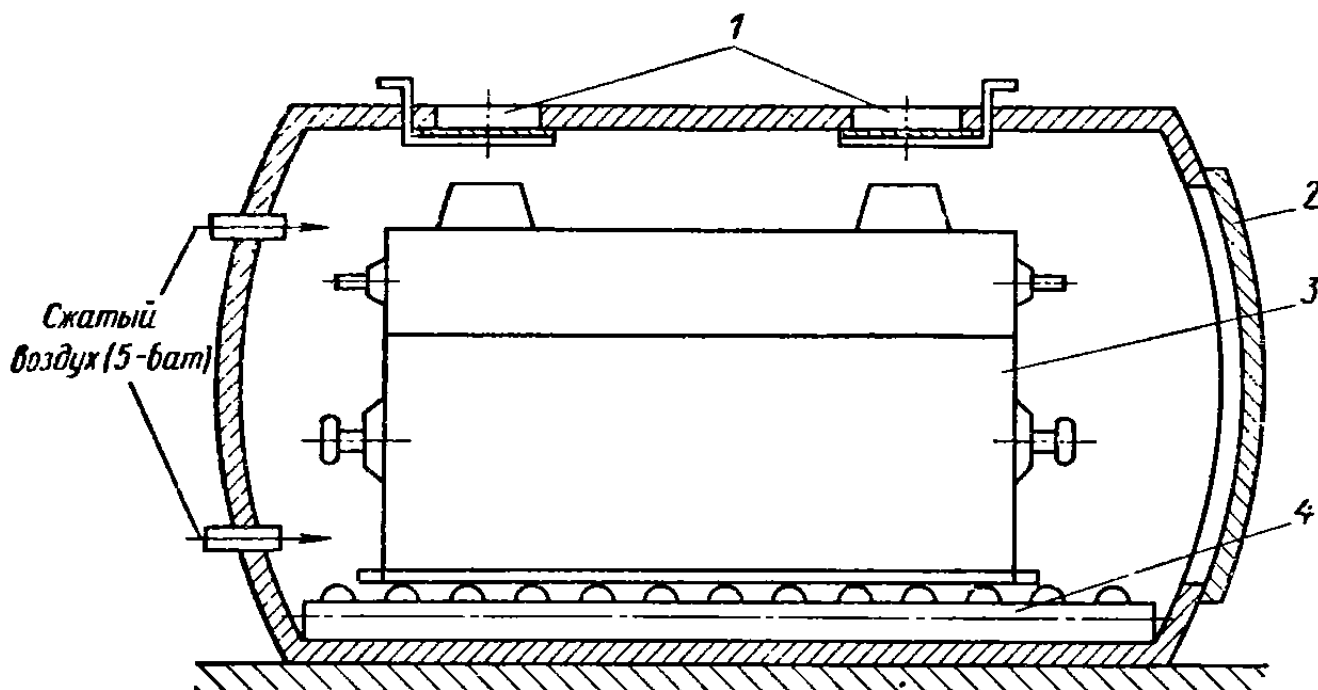
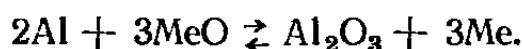
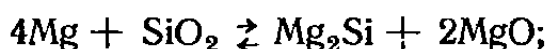


Рис. 1.44. Автоклав для кристаллизации отливок под давлением:
1 — заливочный люк; 2 — дверца; 3 — форма; 4 — рольганг

В шихте обычно применяют до 50% отходов собственного производства (выпоры, литники и другие крупные отходы), а также до 35% вторичных металлов (для литья деталей мало ответственного назначения). Выпоры, литники, а также другие элементы шихты, имеющие загрязненную или сильно окисленную (прокорродированную) поверхность, подвергают пескоструйной обработке.

В зависимости от сорта чушкового алюминия в нем может содержаться водорода от 0,01 до 0,5 см³/100 г и окиси алюминия от 0,01 до 0,2%. Такое большое количество примеси окиси алюминия снижает пластичность алюминия и его сплавов. Следует отметить, что в сплаве (в процессе плавки) дополнительно увеличивается количество окислов (в результате взаимодействия алюминия, магния и других компонентов шихты с футеровкой печи), водорода (в результате разложения влаги атмосферы и футеровки).

При взаимодействии сплава, содержащего магний, с футеровкой из шамота могут протекать следующие реакции:



С целью снижения содержания окиси алюминия в сплаве необходимо выполнять следующие мероприятия:

1. В зависимости от состава сплава, предназначенного для литья большой партии деталей, делать такую футеровку плавильной печи, которая в меньшей степени взаимодействовала бы с компонентами сплава, т. е. чтобы изменение свободной энергии образования окислов футеровки было выше или такое же, как при образовании окислов алюминия или окиси магния, например при плавке сплавов типа магналий (АЛ8, АЛ27-1 и др.). В этом случае рекомендуется футеровку изготовлять из плавикового магнезита.

2. Процесс плавки вести без допущения излишнего перегрева сплава и длительных перерывов, особенно длительного выстаивания в печи готового к разливке жидкого сплава.

Чем меньше поверхностное натяжение флюса, используемого при ведении плавки, тем лучше он смачивает окисную пленку на сплаве и тем эффективнее защищает сплав от окружающей среды. Вместе с тем смачивающая способность флюса относительно сплава должна быть минимальной, чтобы обеспечить полное отделение сплава от флюса при разливке.

К наилучшим рафинирующим (и модифицирующим) флюсам для плавки сплавов АЛ2, АЛ4, а также медистых силуминов относится флюс, содержащий 39% NaCl; 50% KCl; 4,4% CaF₂ и 6,6% Na₃AlF₆. Для сплавов типа магналий (АЛ8, АЛ13, АЛ27-1 и др.) широко применяют флюс, содержащий 60% KMgCl₃ и 40% CaF₂.

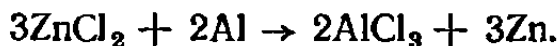
Поскольку водород с окисью алюминия образует комплекс $\gamma = \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}$, находящийся в сплаве в виде тонкодисперсных включений, то при рафинировании сплава одновременно удаляются водород и в значительной мере окись алюминия (табл. 1.69).

1.69. Влияние рафинирующих веществ на содержание водорода и окиси алюминия в сплаве АЛ4 в %

Сплав	Zn Cl ₂		Al Cl ₃		Cl	
	H ₂	Al ₂ O ₃	H ₂	Al ₂ O ₃	H ₂	Al ₂ O ₃
До рафинирования	0,53 · 10 ⁻³	0,06	0,38 · 10 ⁻³	0,073	0,52 · 10 ⁻³	0,065
После рафинирования	0,4 · 10 ⁻³	0,04	0,29 · 10 ⁻³	0,036	0,30 · 10 ⁻³	0,028

Окислы и другие неметаллические твердые включения также удаляются методом флотации. При продувке сплава газом к пузырькам газа прилипают окислы и выносятся на поверхность жидкой ванны. Рафинирование расплава продувкой азотом и аргоном существенно отличается от продувки хлором. В первом случае водород растворяется в пузырьках азота и аргона, удаляющих его из расплава. Во втором случае хлор взаимодействует с алюминием, образуя пузырьки хлористого алюминия; затем пузырьки поглощают водород и выносят

его на поверхность жидкой ванны. Примерно по такой же схеме удаляется водород из сплава при рафинировании его солями:



Затем пузырьки хлористого алюминия поглощают водород, вынося его на поверхность жидкой ванны.

Рафинирование солями дает практически одинаковый результат, рафинирование хлором является намного эффективнее (табл. 1.69). Воздействие на сплав газов и солей принято называть адсорбционным рафинированием; воздействие ультразвука, постоянного электрического тока и вакуумирования — неадсорбционным рафинированием.

При прохождении упругих колебаний через сплав или любую жидкую среду происходит явление кавитации, приводящее к разрыву сплошности жидкой фазы с образованием пустот, в которых скапливаются газы, диффундирующие из жидкого раствора (сплава). Таким образом, под воздействием ультразвука происходит выделение из раствора газов в виде пузырьков, диффундирующих на поверхность жидкой ванны, и коалесценция их до больших размеров. Этот метод нашел широкое применение в литейном производстве. Ультразвук не только уменьшает содержание газов в сплаве, но и благоприятно сказывается на измельчении структуры сплавов, что способствует повышению их механических свойств (табл. 1.70).

1.70. Механические свойства сплавов до и после обработки ультразвуком

Сплав	Способ литья	Образцы						Балл пористости	ρ в г/см ³	
		отдельно отлитые			вырезанные из деталей					
		σ_B в кгс/мм ²	δ в %	НВ	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ в %			
						в кгс/мм ²				
АЛ9:	до обработки	В	22,7	2,4	82,1	15,6	18,8	1,7	2	2,698
	после обработки	В	23,5	5,0	67,9	15,5	20,2	1,8	1	2,703
АЛ20:	до обработки	З	31,3	1,3	121	24,0	27,8	0,3	5	2,771
	после обработки	З	32,9	1,2	122	28,0	29,1	0,4	1	2,785

Пр и м е ч а н и е. Приведены средние значения из четырех определений.

Обработка ультразвуком является перспективным методом. Повышение механических свойств сплавов, обработанных ультразвуком, происходит не только за счет значительного уменьшения содержания газов в сплавах, но, очевидно, и за счет очищения их от неметаллических включений.

По данным исследований Д. П. Ловцова и А. Г. Спасского, воздействие постоянного электрического тока на сплав дает положительный эффект в отношении рафинирования алюминиевых сплавов. Но этот метод пока не нашел широкого применения в промышленности.

Вакуумирование сплава является наиболее перспективным методом рафинирования. Эффективность этого метода показана в табл. 1.71.

1.71. Изменение содержания водорода, неметаллических включений и механических свойств сплавов после вакуумирования

Сплав	До вакуумирования				После вакуумирования			
	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	H_2 в см ³ /100 г	Al_2O_3 в %	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	H_2 в см ³ /100 г	Al_2O_3 в %
АЛ4	23,0	2,0	1,38	0,12	23,5	4,0	0,09	0,06
АЛ5	24,0	3,0	1,24	0,08	27,5	6,0	0,08	0,02
АЛ9	25,0	2,0	1,1	—	28,0	4,0	0,07	—

Повышение прочности, особенно пластичности сплавов, после вакуумирования объясняется не только уменьшением содержания водорода, но также и резким уменьшением содержания в сплавах окиси алюминия.

6. КЛАССИФИКАЦИЯ МОДИФИКАТОРОВ И МЕТОДЫ ИХ ВВЕДЕНИЯ В СПЛАВЫ

К наиболее широко применяемым модификаторам (табл. 1.72) относятся следующие.

1. Бор, а также титан, цирконий и другие переходные металлы, образующие в сплаве твердые частицы соединений (AlB_2 , Al_3Ti , Al_3Zr и др.), отвечающие требованиям структурного и размерного соответствия по отношению к алюминию, что способствует сильному измельчению зерен твердого раствора алюминия.

2. Фосфорсодержащие соединения и смеси (флюсы), образующие частицы фосфида алюминия, которые являются центрами кристаллизации первичных кристаллов кремния; в результате эффективно уменьшаются их размеры в сплавах заэвтектических силуминов.

3. Соединения (флюсы), содержащие натрий и наиболее эффективно измельчающие структуру эвтектик в сплавах типа доэвтектических и эвтектических силуминов.

4. Бериллий, а также марганец, церий и многие другие переходные металлы, способствующие изменению состава, структуры и размеров частиц железосодержащих соединений (Al_3Fe , Al_4Si_2Fe) и др., образующихся в грубокристаллической форме.

Модификаторы, применяемые при литье фасонных деталей из алюминиевых сплавов, разделяются на четыре группы.

1. Для модифицирования зерен твердого раствора—основы сплава прежде всего следует использовать элементы переходных групп. Чем

1.72. Взаимодействие модификаторов с алюминием и методы их введения в сплав

Модификаторы	Взаимодействие модификаторов с алюминием и компонентами его сплавов	Методы введения модификаторов в сплав
Бор	Бор соединяется с алюминием в фазу AlB_2 . При атомарном взаимодействии образуется большое количество ультрадисперсных частиц фазы, являющихся зародышами кристаллизации мелких зерен твердого раствора — основы сплава. Бор максимально действует на измельчение зерна твердого раствора при литье в песчаные формы и по выплавляемым моделям	Вводят в сплав в виде сухого порошка KBF_4 , завернутого в алюминиевую фольгу, при помощи колокольчика (0,05% бора от массы шихты). Температура сплава 770—780°С
Титан, цирконий и другие элементы переходных групп	Достигается максимальное измельчение зерен твердого раствора—основы сплава (при литье в песчаные формы и по выплавляемым моделям)	Вводят в сплав соли (K_2TiF_6 , K_2ZrF_6 и др.) при температуре 760—780°С с последующим тщательным перемешиванием и рафинированием или вакуумированием
Фосфорсодержащие соединения или флюсы: 1) 20% красного фосфора, 70% хлористого калия, 10% фтористого калия; 2) 14% красного фосфора, 41% гексахлорэтан, 7% фтортитаната калия, 38% хлористого калия;	Образуются ультрадисперсные частицы фосфида алюминия, являющиеся центрами кристаллизации первичного кремния. Чем больше образуется частиц фосфида алюминия, тем выше степень модифицирования. Натрий частично модифицирует эвтектику образованием тройной эвтектики. Образуется алюминием фосфид алюминия, измельчающий кристаллы кремния и частицы карбидов, которые несколько измельчают зерна твердого раствора	Флюс (1,5—2% массы шихты) вводят в сплав при 780—820°С порциями, затем рафинируют хлористым марганцем или гексахлорэтаном То же

Продолжение табл. 1.72

Модификаторы	Взаимодействие модификаторов с алюминием и компонентами его сплавов	Методы введения модификаторов в сплав
3) фосфорорганические вещества (хлорофос, трифенилфосфат и др.)	Модифицирование силицированными, содержащих выше 20% Si, заключается в образовании ультрадисперсных частиц фосфида алюминия и карбидов титана, циркония, кремния и компонентов, которые являются центром кристаллизации первичного кремния	Вводят в сплав, перегретый до 760—780° С, в количестве 0,4—0,6% массы шихты. Через 10 мин сплав перемешивают, рафинируют и после снятия шлака разливают по формам
4) фосфористая медь	Образуются ультрадисперсные частицы фосфида алюминия, являющиеся центрами кристаллизации первичного кремния, и частицы фазы Si_2P , которые способствуют в незначительной степени измельчению структуры зерен твердого раствора-основы сплава	Вводят в перегретый сплав до 800° С в количестве 0,1% от массы шихты. Затем сплав рафинируют хлористым марганцем или гексахлорэтаном
Соединения и флюсы, содержащие натрий	Наибольший модифицирующий эффект (измельчения структуры эвтектики $\alpha + Si$) от введения натрия достигается в результате образования тройного соединения $AlSiNa$, усложняющего эвтектику $\alpha + Si + AlSiNa$, вместо двойной $\alpha + Si$	Сплав выдерживают под флюсом в течение 12 мин. Составы флюсов приведены в табл. 1.74
Бериллий для силицированных	Сильно изменяет форму кристаллизации железосодержащих фаз. Из пластинчатой формы (Al_3Fe , Al_4Si_2Fe и др.) он способствует превращению их в компактную форму в виде многогранников, изменяя при этом их состав	Вводят в сплав при помощи приспособления, которое до растворения бериллия не позволяет ему всплыть на поверхность ванны.

Продолжение табл. 1.72

Модификаторы	Взаимодействие модификаторов с алюминием и компонентами его сплавов	Методы введения модификаторов в сплав
Элементы переходных групп (Mn, Cr, Ce и др.)	В сплавах систем Al—Mg; Al—Mg—Si; Al—Cu—Zn и др. повышают не только прочностные свойства сплавов, но и сопротивляемость коррозии под напряжением в результате образования частичек сложных фаз, расположенных по границам зерен	Следует вводить в сплав в небольшом количестве в виде лигатур

больше они имеют недостроенных оболочек d или β , тем сильнее их эффект модифицирования. Л. К. Лемихов и Г. В. Самсонов полагают, что элементы, стоящие в начале периодов таблицы Менделеева и имеющие наибольшую дефектность уровня, относятся к числу наиболее активных модификаторов (табл. 1.73).

1.73. Влияние переходных металлов на измельчение зерна алюминия А99 и сплава АЛ7

Элемент	n	$1/Nn$	Максимальное число зерен на 1 см^2	
			алюминий А99	сплав АЛ7
IV период				
Sc	1	0,333	1090	900
Ti	2	0,167	900	900
V	3	0,111	400	625
Cr	4	0,067	36	25
Mn	5	0,066	49	25
Fe	6	0,055	64	36
Co	7	0,047	25	16
Ni	8	0,041	16	16
V период				
Zr	2	0,125	840	900
Nb	4	0,0625	121	484
Mo	5	0,050	121	400
VI период				
Hf	2	0,100	784	784
Ta	3	0,067	625	780
W	4	0,050	756	756
Re	5	0,040	81	36

Примечание. N — главное квантовое число недостроенной d -оболочки, n — число электронов в d -оболочке.

1.74. Состав и области применения универсальных флюсов при плавке алюминиевых сплавов

№ флюса	Состав в % по массе				Температура модифицирования в °С	Область применения
	NaF	NaCl	KCl	Na ₃ AlF ₆		
1	60	25	—	15	800—820	<p>1. Для модифицирования сплава АЛ2, когда требуется максимальная активность флюса.</p> <p>2. При рафинировании сплава.</p> <p>3. При литье тонкостенных деталей, когда требуется высокий перегрев сплава</p>
2	40	45	—	15	750—800	Для модифицирования и рафинирования сплава
3	30	50	10	10	720—740	Для модифицирования сплава при низкотемпературной заливке форм

Следует отметить, что указанные выше модификаторы следует вводить в сплав, особенно в сплавы типа твердых растворов АЛ19, ВАЛ10, В2243, в виде солей, которые взаимодействуют с алюминием. Выделяющийся атомарный модификатор соединяется с алюминием (например, $11Al + 3K_2ZrF_4 \rightleftharpoons 3Al_3Zr + 2AlF_3 + 6KF$) в виде ультрадисперсных частиц, которых во много раз больше, чем содержится этих частиц (к тому же крупных размеров) в лигатурах.

2. Для модифицирования зерен первичного кремния в сплавах заэвтектических силуминов наиболее эффективными модификаторами являются смеси и соединения, содержащие фосфор, которые грубокристаллическую структуру сплавов, особенно содержащих больше 20% Si, превращают в сравнительно мелкие частицы. При такой структуре заэвтектические силумины имеют относительное удлинение 0,2% и ударную вязкость 0,1 кгс·м/см². Существующие модификаторы не позволяют получать нужную структуру, обуславливающую сравнительно высокую пластичность сплавов типа заэвтектического силумина.

Колобневым И. Ф. и Ротенбергом В. А. был предложен новый способ модифицирования заэвтектических силуминов фосфорорганическими соединениями (например, хлорофосом в количестве 0,005—3%, трифенилфосфатом и т. д.). Этот способ значительно повышает прочность сплавов и в 4—5 раз относительное удлинение по сравнению с другими модификаторами. Это достигается тем, что механизм модифицирования заэвтектических силуминов заключается в образовании фосфида алюминия, параметр кристаллической решетки которого (структурный тип ZnS) очень близок к параметру кристаллической решетки кремния (тот же структурный тип). Согласно принципу структурного и размерного соответствия мельчайшие частицы фосфида алюминия являются

зародышами для кристаллита кремния. С другой стороны, введение в сплав углерода способствует образованию частиц карбида кремния и карбидов металлов (TiC , ZrC и др.), которые являются готовой кристаллической подкладкой для кристаллизующегося из сплава первичного кремния.

Преимущество указанного выше способа — он не требует высокого перегрева сплава и позволяет стабильно получать модифицированную структуру.

3. Усложнение составов эвтектик является одним из эффективных способов измельчения их структуры. Например, грубокристаллическая структура двойной эвтектики (при кристаллизации отливок в песчаных формах) в сплавах АЛ6 и АЛ7 эффект термической обработки практически сводит к нулю, тогда как усложнение состава эвтектики, например $\alpha + Si + CuAl_2 + Mg_2Si$ (сплав АЛ5) или $\alpha + Si + CuAl_2 + W-Al_xMg_5Si_4Cu_4$ (сплав АЛ3), содержащей кремния [практически столько же, сколько и в двойной эвтектике (сплав АЛ6)], позволяет успешно применять термическую обработку на упрочнение.

4. Изменением состава таких фаз, как Al_3Fe , Al_4Si_2Fe , Al_9FeNi и др., которые имеют в сплавах грубокристаллическое строение, удается резко изменить их строение, превращая пластинчатую форму в округлую, например Be_3SiFe , или в тонкие прожилки скелетообразной формы ($AlSiMnFe$; $Al_8Si_6Mg_3Fe$).

7. ПЕРЕПЛАВКА ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В процессе фасонного литья и механической обработки деталей образуется большое количество отходов. Чаще всего эти отходы обрабатывают на месте их получения, это позволяет в значительной мере освободить транспорт от излишних перевозок, более точно классифицировать отходы по сплавам и уменьшить их потери.

Качество вторичных сплавов зависит не только от уровня технологии их плавки, но и от правильной организации сбора отходов, сортировки, хранения и предварительной их переработки.

В литейных цехах машиностроительных заводов обычно приходится перерабатывать отходы литейных цехов (литники, выпоры, скрап и т. д.) и механических (табл. 1.75).

Технология переплавки крупногабаритных отходов аналогична технологии плавки чистых металлов. Для этой цели также могут быть использованы пламенные и электрические печи ванного типа. Переплавка крупногабаритных отходов в печах малой емкости непроизводительна и неэкономична.

Перед переплавкой любых отходов прежде всего необходимо удалить посторонние примеси (железные, медные и др.), а также очистить их от грязи, масла и влаги. Затем следует произвести сортировку крупных отходов по сплавам. Перед загрузкой в расплав шихту подогревают до $150^\circ C$. Соли, применяемые для флюсов, сушат при $150-200^\circ C$ в течение 12—16 ч, размалывают и просеивают через сито с ячейками диаметром 3—5 мм.

Температура плавления соляных смесей приведена в табл. 1.76.

1.75. Обработка и использование отходов в фасоннолитейных цехах

Отходы	Предварительная обработка	Переplавка в чушки	Использование отходов
Брак деталей	Разделка, освобождение от посторонних включений, пескообдувка в случае их загрязнения	Только для приготовления рабочего сплава	Для подшихтовки основного сплава
Литники и выпоры	Пескообдувка	То же	То же
Остатки сплава: в литниковых чашах; в печах и тиглях	То же Без обработки	Переplавляют Не переplавляют	Для основного сплава
Сортированные сплески	То же	Переplавляют	То же
Стружка и опилки	Обработка зависит от состояния	То же	Добавка в шихту в количестве, зависящем от химического состава и назначения литья
Литниковые остатки с железными сетками	Пескообдувка	Переplавка с удалением железных частей	Добавка в шихту в количестве, зависящем от химического состава и назначения литья
Съемы и шлаки	—	—	Переработка на заводах вторичных металлов
Отходы деформированных полуфабрикатов (обрезки листов, прутков, проволоки и стружки)	Зависит от величины отходов и их состояния	Все мелкие отходы переplавляют	Добавка в шихту в количестве, зависящем от химического состава и назначения литья

ФОРМОВОЧНЫЕ И СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ

Формовочные и стержневые смеси готовят из исходных формовочных материалов, химически инертных по отношению к сплавам, и из смесей, ранее уже находившихся в употреблении (оборотные или отработанные смеси). Исходными формовочными материалами являются пески (кварцевые, тощие, полужирные и жирные), формовочные глины (ГОСТ 3226—65), связующие и вспомогательные материалы (табл. 1.77, 1.78, 1.79).

Качество отливок зависит от правильного выбора формовочных и стержневых смесей, которые должны обладать следующими свойствами: хорошей текучестью (способность легко заполнять полости в ящике или обтекать модель), пластичностью (способность принимать под давлением очертания модели или ящика и сохранять их после удаления модели или ящика), податливостью (способность уменьшаться в объеме под действием усадки остывающей отливки), достаточной газопроницаемостью, минимальной газотворной способностью, огнеупорностью, достаточной прочностью, легкой выбиваемостью, малой склонностью к объемным изменениям при нагреве, долговечностью, низкой стоимостью.

Зерновой состав смесей должен обеспечивать получение отливок с чистой поверхностью.

Хорошая текучесть смеси в сочетании с высокой пластичностью позволяют получать четкий отпечаток модели в облицовочном слое формы без нежелательного чрезмерного уплотнения наполнительной смеси, которое снижает газопроницаемость форм. Текучесть смеси ухудшается при увеличении содержания глины. Высокая газопроницаемость смеси способствует быстрому удалению из полости формы воздуха, а также паров и газов, образующихся в ней при заливке.

Повышенная огнеупорность смесей способствует получению отливок с чистой поверхностью, без пригара. Огнеупорность зависит от чистоты материалов.

В процессе нагрева при заливке объем формы и стержней не должен изменяться, так как это приводит к искажению размеров отливки. Минимальное изменение объема при нагреве обеспечивается применением в формовочных и стержневых смесях материалов с низким коэффициентом термического расширения и повышенной теплопроводностью.

В составе формовочных смесей для алюминиевого литья используют до 100% оборотной смеси. Формовочные смеси для алюминиевого и магниевое литья приведены в табл. 1.80.

Единую формовочную смесь применяют для изготовления всей формы. Наиболее широко ее используют на участках машинной формовки.

Облицовочную смесь применяют для изготовления облицовочного слоя формы, непосредственно прилегающего к модели (толщина слоя 10—50 мм).

Наполнительная смесь служит для заполнения формы после нанесения облицовочного слоя.

Состав и основные свойства типовых формовочных смесей для отливок из алюминиевых сплавов приведены в табл. 1.81.

Выбор состава стержневых смесей зависит от назначения и конфигурации стержней, подразделяемых на три группы.

1.77. Характеристики песков и их назначение

Пески	Содержание глины в %	Свойства при оптимальной влажности			Назначение
		Газопроницаемость (единиц, не менее)		Предел прочности при сжатии по сырому в кгс/см ²	
		Категория			
		А	Б		
Кварцевые: 1К025 1К016	2 2	200 100	160 75	— —	Стержневые смеси
1К010	2	50	40	—	Стержневые смеси, обеспечивающие получение отливок с чистой поверхностью
Тощие: Т025 Т016	2—20 2—20	125 75	80 60	— —	Взамен кварцевых песков в стержневых смесях, содержащих водорастворимые связующие (сульфитно-спиртовую барду, декстрины и т. п.)
Полужирные: П025 П016 П010	10—20 10—20 10—20	— — —	— — —	0,25 0,30 0,35	В составе стержневых смесей (5—20%) Для освежения формовочной смеси; в составе стержневых смесей
Жирные: Ж025 Ж016	20—30 20—30	— —	— —	0,45 0,50	При отсутствии глины и полужирного песка в составе (3—10%) стержневых смесей
Ж0063	20—30	—	—	0,50	Вместе с кварцевым или тощим песком для освежения формовочных смесей

1.78. Связующие и их назначение

Связующие	ГОСТ	Назначение
4ГУ	—	Смеси для стержней 1-й группы сложности
М, М-2	—	Стержневые смеси, краски
П, ПТ, ПТА	ГОСТ 5506—58	Стержневые смеси
ЛКБЖ, ЛКБТ	—	Стержневые смеси, краски, пасты, клеи
КВ ₀ и КВС	ГОСТ 9006—62	Стержневые смеси
Клей пектиновый	—	То же
ПК-104	ГОСТ 13507—68	Песчано-смолиные смеси, краски
ПБ	ГОСТ 3552—63	То же
Стекло жидкое	ГОСТ 8264—56	Стержневые смеси, клеи
Поливиниловый спирт		
ПВС марок 1, 2, 3	ГОСТ 10779—69	Стержневые смеси, пасты, клеи
Смола 180	ГОСТ 14970—69	Стержневые песчано-смолиные смеси

1.79. Вспомогательные материалы и их назначение

Материал	ГОСТ	Назначение
Тальк молотый	ГОСТ 879—52	Для приготовления красок и паст
Графит аморфный	ГОСТ 5420—50	То же
Графит П	ГОСТ 8295—57	»
Мел природный	ГОСТ 1498—64	»
Декстрин	ГОСТ 6034—61	»
Линкоподий	НКВТ-6631/221	Для припыла
Коллоидно-графитовые препараты	ГОСТ 5245—50	Для окрашивания форм и стержней
Керосин тракторный	ГОСТ 1842—52	Для предупреждения прилипания стержневых смесей к ящикам
Бензин-растворитель	ГОСТ 3134—52	То же
Спирт этиловый техинческий	ГОСТ 17299—71	Для приготовления раствора терморезактивных смол
Эфиральдегидная фракция	—	То же
Натр едкий	ГОСТ 2263—71	В качестве стабилизатора рН-среды
Борная кислота	ГОСТ 2629—44	В качестве защитной присадки для алюминиево-магниевых и магниевых сплавов
Присадка ВМ	—	То же

1.80. Формовочные смеси для алюминиевого и магниевомго литья¹.

Смесь формовочная	Компоненты	Содержание в % по массе
Единая	Оборотная смесь Свежие пески или формовочные смеси, предварительно приготовленные для освежения Вода	90—97 3—10 4—7 (сверх 100%)
Облицовочная	Оборотная смесь Свежие пески или формовочные смеси, предварительно приготовленные для освежения Вода	75—90 25—10 4—7 (сверх 100%)
Наполнительная	Оборотная смесь Вода	100 3—6 (сверх 100%)

¹ Данные И. Ф. Колобнева и В. В. Крымова.

Стержни группы I образуют тонкие и сложные внутренние полости отливок (например, каналы масляных и водяных магистралей), не подверженные механической обработке и труднодоступные для осмотра. Они испытывают значительное тепловое воздействие при заливке и затвердевании сплава в форме. Удаление из них газа затруднено, так как знаки стержней малы. Стержни этой группы должны обладать высокой общей и поверхностной прочностью, газопроницаемостью и низкой газотворной способностью, легко разрушаться при выбивке. Для их изготовления следует применять тщательно отмытые и очищенные высококачественные кварцевые пески и связующие, обладающие высокими свойствами.

Стержни группы II образуют внутренние полости несложной конфигурации, которые обычно подвергаются механической обработке и легко доступны для осмотра. Они испытывают меньшее тепловое воздействие; газы из них легко удаляются через большие знаки. Стержни этой группы должны обладать средней общей и поверхностной прочностью, хорошей податливостью и выбиваемостью.

Стержни группы III образуют наружный контур отливок и простые внутренние полости. Они подвержены меньшему тепловому воздействию со стороны сплава, чем стержни первых двух групп; газы из них свободно удаляются.

Типовые составы смесей для стержней всех трех групп приведены в табл. 1.82, 1.83, 1.84.

Для сплавов системы Al—Mg, склонных к окислению при заливке в песчаные формы, в состав стержневых смесей добавляют борную

¹ Данные И. Ф. Колобнева и В. В. Крымова.

Формовочная смесь	Состав						Свойства		
	Исходный		Рабочий		Для освежения		Влажность в %	Газопроницаемость	Предел прочности при сжатии по-сырому в кгс/см ²
	Компоненты	Содержание в ч. по массе	Компоненты	Содержание в ч. по массе	Компоненты	Содержание в ч. по массе			
Ф-I	Песок П010 или П0063А Песок К016А или К010А Вода	95—90 5—10 До нормы	Оборотная смесь Освежающая смесь Вода	85—97 15—3 До нормы	Песок: П010А К016А	70—80 30—20	4,5—5,5	45—60	0,4—0,7
Ф-II	Песок П016А, или П010А, или П0063А Песок К02Б, или К016А, или К010А Вода	95—90 5—10 До нормы	Оборотная смесь Освежающая смесь Вода	85—97 15—3 До нормы	Песок: П010А К02Б	30—60 70—40	4,0	80—90	0,4—0,8
Ф-III	Песок К02Б, или К016А, или К010А Песок 1КРС или 1КРМ Бентонитовая глина Вода	63—45 30—50 7—5 До нормы	Оборотная смесь Освежающая смесь Вода	85—97 15—3 До нормы	Песок: К02Б К010А Бентонитовая глина	63—45 30—50 7—5	2,5—3,5	50—120	0,4—0,8

Примечание. Для алюминиевомагниевого сплава в формовочную смесь вводят защитные присадки ВМ или 4—5% борной кислоты. В случае приготовления сплава с применением лигатуры Al—Be содержание защитных присадок может быть уменьшено до 2—3%.

1.82. Типовые составы смесей для стержней I группы в ч. по массе

Смесь	Песок		Связующее				Вспомогательный материал	
	К025	К010	4ГУ, 4ГФ	М, М-2	Пектиновый клей	Раствор ПВС (10—12%)	Пылевидный кварц	Уайт-спирит или керосин
1	100	—	—	1,0—1,5	0,5—1,5	—	—	0,25
2	80—70	20—30	—	1,5—2,0	0,5—1,0	—	—	0,25
3	100	—	1,5—2,5	—	—	—	—	—
4	100	—	1,5—2,5	—	—	1,5—2,0	—	—
5	97—95	—	—	—	—	4,0—6,0	3—5	—

1.83. Типовые составы смесей для стержней группы II в ч. по массе

Смесь	Песок				Связующее		
	К025	К010	П016 илч П0063	Т025	М, М-2	Пектиновый клей	ЛКБТ, ЛКБЖ
1	98—90	—	2—10	—	1,5—3,0	0,5—2,0	—
2	80—70	20—30	—	—	1,5—3,0	0,5—2,0	—
3	80—70	20—30	—	—	1,5—2,0	1,5—2,5	—
4	80—70	20—30	—	—	—	—	2,5—3,0
5	80—70	20—30	—	—	—	—	2,0—3,0
6	96—95	—	4—5	—	—	—	1,5—2,0
7	60	40	—	—	—	0,5—0,7	—
8	—	—	0—5,0	100—95	—	0,5—0,7	—
9	100	—	—	—	—	—	—

Смесь	Связующее			Вспомогательный материал			
	П, ПТ или ПТА	КО	Жидкое стекло	Формовочная глина	Графит серебристый	Уайт-спирит или керосин	Едкий натр
1	—	—	—	—	—	0,3	—
2	—	—	—	—	—	0,3	—
3	—	—	—	1,0—2,0	—	0,3	—
4	1,0—1,25	—	—	1,0—2,0	—	—	—
5	—	1,0—1,25	—	1,0—2,0	—	—	—
6	—	1,2—2,0	—	—	—	—	—
7	2,0—3,0	—	—	—	—	0,3	—
8	2,0—3,0	—	—	—	—	0,3	—
9	—	—	4,0—4,5	1,0—2,0	0,5	—	1,5

1.84. Типовые составы смесей для стержней группы III в ч. по массе

Смесь	Песок				Связующее			
	K025	K016	K010	П016 или П0063	М, М-2	Пекти- новый клей	ЛКБТ, ЛКБЖ	П, ПТ или ПТА
1	70—50	—	—	—	1,5—2,0	1,0—1,5	—	—
2	48—45	—	—	2,0—5,0	1,5—2,0	—	—	—
3	—	70—60	28—37	—	1,5—3,0	1,5—2,5	—	—
4	90—85	—	—	10—15	—	—	2,5—3,0	—
5	60—30	—	—	—	—	—	2,5—3,0	—
6	80—70	—	19—28	—	—	—	2,5—3,0	1,25—
7	97	—	—	—	—	—	—	2,0

Смесь	Связующее		Вспомогательный материал					
	КО	Жидкое стекло	Стерж- невые отходы	Формо- вочная глина	Тальк	Уайт- спирит или керосин	Едкий нагр	Техни- ческая моче- вина
1	—	—	30—50	—	—	0,3	—	—
2	—	—	50	—	—	0,3	—	—
3	—	—	—	2,0—3,0	—	0,3—0,5	—	0,5
4	1,5—2,0	—	—	—	—	—	—	0,5
5	1,5—2,0	—	40—70	—	—	—	—	—
6	—	—	—	1,0—2,0	—	—	—	—
7	—	4,5—5,5	—	—	3,0	—	1,5	—

кислоту в виде порошка (0,5—1%) или опрыскивают сырые стержни раствором этой кислоты (концентрация 2—3%). Для приготовления стержневых смесей песка следует просеять, а кварцевый песок предварительно просушить.

Смеси готовят в бегунах. Вначале в них загружают сухие компоненты (их температура не должна превышать 30° С) и перемешивают, затем добавляют связующие. После введения всех составляющих смесь перемешивают в течение 5 мин. Приготовленную смесь следует разрыхлить.

Хранить смесь необходимо в закрытых ящиках, не допуская ее выветривания и подсыхания. Срок хранения смеси в летних условиях не больше 24 ч, в зимних — не более двух суток.

При изготовлении смесей связующие М и М-2 применяют с пектиновым клеем, что способствует устранению неприятного запаха и снижает газовыделение стержней. Связующие ЛКБТ и ЛКБЖ целесообразно применять в тех случаях, когда смесь наряду с кварцевым песком содержит полужирный песок или формовочную глину. Связующие ПТ, ПТА и КО способствуют снижению гигроскопичности сухих стержней и уменьшают прилипаемость смеси.

Стержневые смеси с ПВС применяют для стержней I группы, так как такие смеси обладают большой пластичностью, а стержни из них хорошо сохраняют свои размеры при сушке и негигроскопичны. Перемешивание смеси с ПВС не должно превышать 5 мин.

Стержневые смеси с жидким стеклом применяют для стержней III группы. Для приготовления этих смесей в бегунах сначала перемешивают сыпучие материалы (2—3 мин), затем добавляют раствор едкого натра плотностью 1,3—1,35 г/см³ и перемешивают в течение 4—5 мин. После этого добавляют жидкое стекло (плотность 1,45—1,52 г/см³, модуль 2,3—3) и вновь перемешивают 3—4 мин. Готовую смесь выдерживают в течение 2 ч. Допустимый срок хранения смеси в закрытом ящике не более 48 ч.

Основные свойства стержневых смесей приведены в табл. 1.85.

1.85. Свойства стержневых смесей

Свойства	Группа стержней		
	I	II	III
Газопроницаемость (в сыром состоянии), не менее	100	80	45
Влажность в %	2,5—5,0	2,0—5,0	2,0—6,0
Предел прочности при сжатии (в сыром состоянии) в кгс/см ²	0,03—0,07	0,06—0,15	0,06—0,15
Предел прочности на разрыв (в сухом состоянии) в кгс/см ²	8—12	4—12	4—12

При производстве отливок в песчаных и металлических формах широко применяют стержни из песчано-смоляных лакированных смесей (табл. 1.86) — оболочковые стержни, формообразование и упрочнение которых происходит непосредственно в горячих металлических ящиках. В лакированных смесях песчинки наполнителя покрыты тончайшей пленкой термореактивной смолы, которая при нагреве сначала плавится, склеивая зерна песка, а затем при повышении температуры необратимо затвердевает. Смолу 180 вводят в смесь в виде раствора.

1.86. Составы стержневых песчано-смоляных лакированных смесей в ч. по массе

Состав	Песок			Связующее		Вспомогательный материал	
	K010A или K010B	K025A (Б) или K016A (Б)	Цирко- новый	Смола 180	Пуль- верба- келит	Уротро- пин	Стеарат калия
1	100	—	—	5,0— 10,0	—	0,2—0,4	0,01
2	70—60	30—40	—	5,0— 10,0	—	0,2—0,4	0,01
3	—	—	100	3,5—5,0	—	0,15— 0,2	0,01
4	100	—	—	—	2—3	—	—
5	—	—	100	—	1,5—2,0	—	—

В пересчете на сухую смолу ее количество должно составлять 2—4% в смесях 1 и 2 и 1,5—2,0% в смеси 3 (табл. 1.86). Пульвербакелит применяют в виде 40%-ного раствора в эфироальдегидной фракции или в этиловом спирте.

В составе песчано-смоляных смесей часто используют цирконовый песок, который дороже обычных кварцевых песков; его преимущества — большая огнеупорность и теплоаккумулирующая способность, а также меньший коэффициент термического расширения.

Процесс приготовления формовочных и стержневых смесей включает следующие технологические операции: сушку формовочных материалов, измельчение их, просеивание, смешивание, рыхление. Для проведения этих операций разработано соответствующее оборудование.

Сыпучие материалы (пески, глины) сушат в различных печах: трубчатых, вертикальных многоподовых, горизонтальных барабанных. Одной из наиболее производительных печей является установка для сушки песка в кипящем слое (рис. 1.45). Через слой песка снизу продувается нагретый воздух или газ (температура 900—1000° С). При этом частицы песка быстро и хаотично перемещаются (подобно кипящей жидкости). Большая поверхность соприкосновения и интенсивное перемешивание частиц песка в кипящем слое способствуют эффективному теплообмену между ними и газовым потоком. Производительность установки до 10 т/ч, при этом песок с начальной влажностью 8—12% высушивается до остаточной влажности 0,1%.

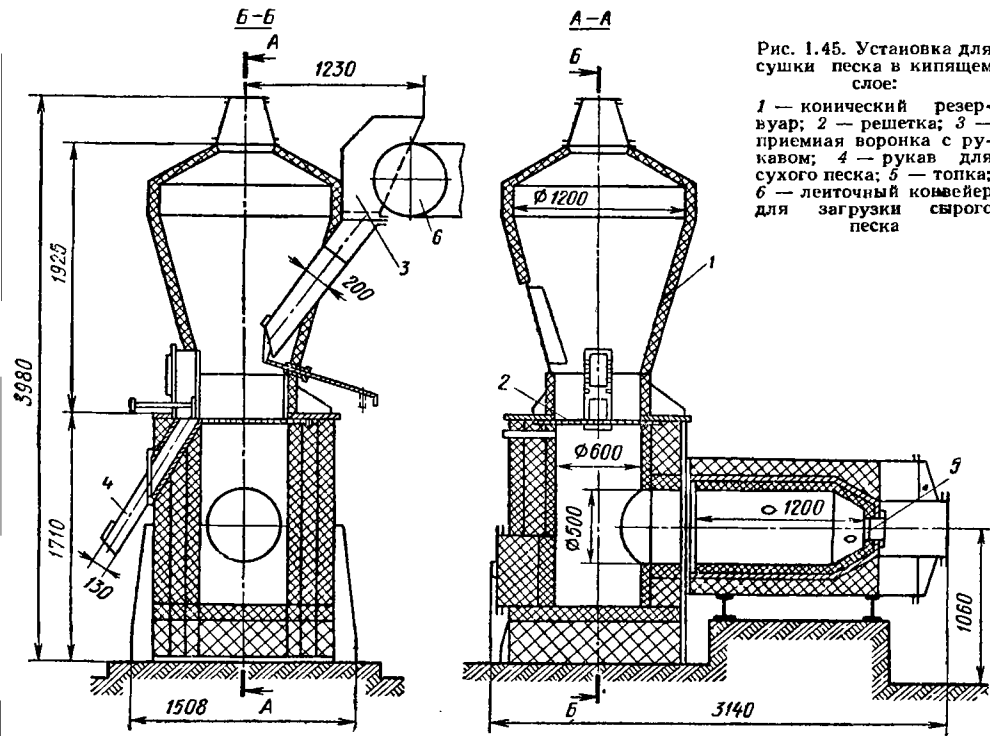
После сушки остаточная влажность кварцевых песков должна составлять 0,1—0,2%, глин — 5—8%.

Высушенные глины размалывают в дробилках (щековых, вальцовых, молотковых) до кусков величиной 5—50 мм (грубое измельчение); затем производят тонкий помол в шаровых мельницах или размалывающих бегунах. Технические характеристики шаровой мельницы мод. 151М и бегунов мод. 1А18 приведены в табл. 1.87.

1.87. Технические характеристики установок для тонкого помола кусковых формовочных материалов

Характеристика	Бегуны модели 1А18	Шаровая мельница модели 151М
Объем замеса в м ³	0,25	—
Наибольшая масса загружаемого материала в кг	—	40
Наибольший размер кусков загружаемого материала в мм	80	15
Производительность в кг/ч (для 151М) или м ³ /ч (для 1А18)	3	75
Мощность электродвигателя в кВт	7	2,8
Габаритные размеры в м	2,6×2,0×1,7	1,3×1,0×1,6
Масса в кг	6000	1025

Свежие просушенные пески и отработанные формовочные смеси просеивают через качающиеся, вибрационные плоские или барабанные полигональные сита. Технические характеристики некоторых сит приведены в табл. 1.88. Барабанное (шестигранное) сито показано на рис. 1.46.



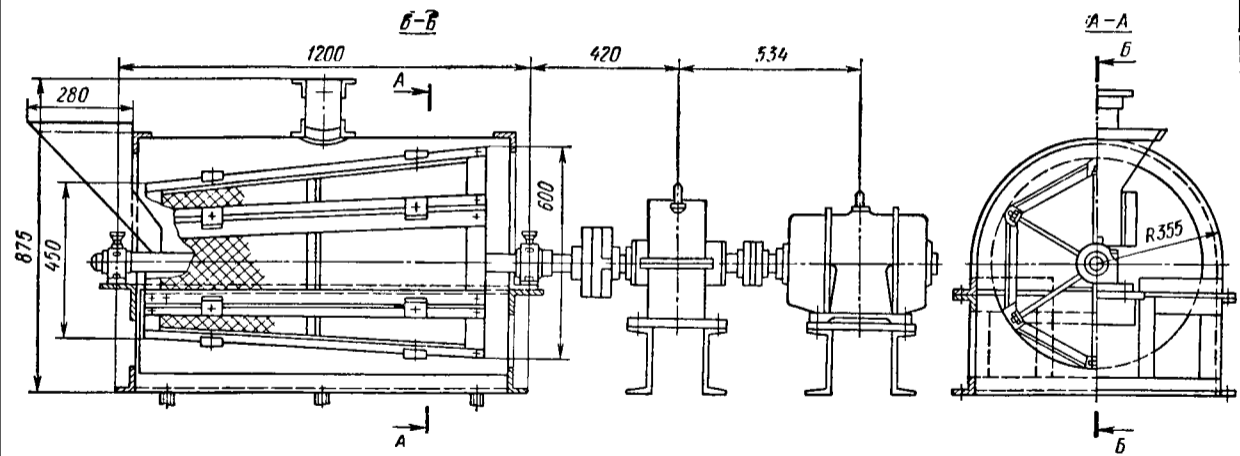


Рис. 1.46. Барабанное шестигранное сито

1.88. Технические характеристики сит

Параметры	Сита				
	Барабанные модели				Плоские модели СМ-50
	173	175М	176М	178М	
Производительность в м ³ /ч . . .	5	20	40	80	30
Число полотен	8	6	8	8	1
Диаметр отверстий полотна в мм . . .	20	20	20	20	15
Мощность электродвигателя в кВт	1,1	3	5,5	7,5	5,5
Габаритные размеры в м	2×0,9× ×0,7	3×1,3× ×1,3	3,8×1,8× ×1,7	4,8×2,3× ×2,2	2×2×0,9
Масса в кг . . .	660	1060	1730	2900	790

Кроме сит в единичном и мелкосерийном производстве для просеивания применяют также передвижную землесейлку мод. 171 производительностью до 3 м³/ч.

Формовочные и стержневые смеси готовят перемешиванием составляющих компонентов в бегунах (табл. 1.89). Наиболее широко применяют бегуны с вертикально вращающимися катками мод.: 111, 1А11, 112, 1А12, 114. Центробежные смешивающие бегуны, обладающие высокой производительностью, применяют в цехах с большим объемом литья.

В отличие от обычных бегунов (рис. 1.47) в центробежных бегунах катки расположены горизонтально. С помощью кривошипов (или

1.89. Технические характеристики бегунов

Модель	Особенность конструкции	Объем замеса в м ³	Производительность в м ³ /ч	Габаритные размеры в м	Масса в т	Установленная мощность электродвигателя в кВт
1А11	С вертикально расположенными катками	0,25	4	1,7×1,7× ×2,2	3,2	10
1А12		0,6	12	2,4×2,4× ×2,5	6,2	30
114		1,0	20	3,4×3,5× ×2,3	4,2	40
1А14	Центробежные с горизонтально расположенными катками	0,25	15	3,7×3,5× ×3,6	8,0	62
115М		0,4	25	4,3×4,0× ×3,4	11,2	89
116М		0,63	38	4,4×4,5× ×3,5	10,5	114

ЗАЛИВКА ФОРМ И ОТДЕЛКА ОТЛИВОК

1. ОСОБЕННОСТИ ЗАЛИВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В мелкосерийном литейном производстве для заливки алюминиевых сплавов обычно применяют различные окрашенные тигли, в крупносерийном производстве — специальные футерованные ковши емкостью до 1000 кг. В первом случае перенос сплава от плавильной печи до места заливки осуществляют вручную, во втором случае — при помощи тельфера или крана.

Тигли, ковши и разливочный инструмент перед использованием обязательно прокаливают и окрашивают специальными красками и обмазкой (табл. 1.91).

1.91. Составы красок и обмазки для тиглей, ковшей и плавильного инструмента

Графит	Жидкое стекло	Глина	Песок	Металлургический магнезит	Окись цинка	Вода	Назначение
70	10	Тальк 20	—	—	—	—	Для переносных плавильных тиглей и оболочек для модифицирования
17	5	18	—	—	—	60	Для чугунных тиглей
—	5	55	3	—	—	37	Для ковшей и чугунных тиглей
10	10	30	60	—	—	—	
—	1,5	—	—	—	32,5	66	Для окраски плавильного инструмента

Алюминиевые сплавы при плавке на воздухе, несмотря на тщательную защиту, всегда оказываются загрязненными и перед заливкой в формы требуют очистки. В зависимости от состава сплава и объема производства очистку сплавов осуществляют продувкой инертными или активными газами, обработкой флюсами, хлоридами и выдержкой в вакууме.

Очищенный сплав может быть вновь загрязнен в процессе заливки при образовании завихрений в местах удара струи о стенку формы. Поэтому линейная скорость движения струи сплава на выходе из питателей должна быть минимальной, для чего используют расширяющиеся литниковые системы.

Для предотвращения захвата воздуха при заливке высоких форм применяют многоярусные и щелевые литниковые системы, обеспечивающие наиболее благоприятное распределение температуры по высоте отливки.

маятников) они соединены с траверсой, установленной на вертикальном валу. При вращении вала под действием центробежной силы катки приближаются к стенке чаши так, что между их рабочей поверхностью и стенкой остается регулируемый зазор. Смешиваемые материалы подаются со дна чаши под катки скребками, установленными на траверсе.

Формовочные материалы поступают в бегуны из бункера и дозаторов объемного или весового типа.

После окончания смешения смесь выгружают из бегунов и подвергают рыхлению, так как смесь, спрессованная катками, неоднородна

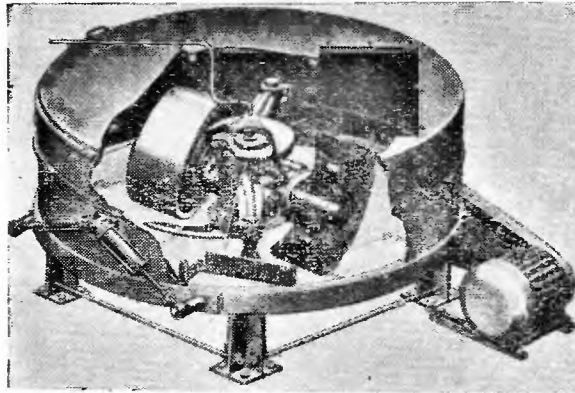


Рис. 1.47. Бегуны модели 114

по плотности, прочности и газопроницаемости. Рыхление смеси производят в лопастных рыхлителях-аэраторах (табл. 1.90).

Для просеивания и разрыхления наполнительной формовочной смеси, а также удаления из нее металлических частиц (шпилек, холодильников, кусков каркасной проволоки и т. п.) применяют передвижной барабанный землеприготовитель модели 126. Его производительность до 12 м³/ч, площадь полотна сита 0,45 м², размер ячейки сита 25 мм.

1.90. Технические характеристики аэраторов

Характеристика	Модель	
	1А32	1А34
Производительность в м ³ /ч	40	80
Число лопастей ротора	24	32
Частота вращения ротора в об/мин	640	580
Количество отсасываемого воздуха в м ³ /ч	1200	2000
Мощность электродвигателя в кВт	7,5	14
Габаритные размеры в м	2,9 × 1,2 × 0,9	3,5 × 1,4 × 1,2
Масса в кг	810	1000

Алюминиевые сплавы склонны к образованию усадочной пористости, которую устраняют в отливках установкой массивных прибылей, холодильников, а в ответственных деталях — кристаллизацией в автоклавах под давлением сжатого воздуха (см. рис. 1.44).

Для получения крупногабаритных тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов в песчаных (сырых и сухих), металлических, а также оболочковых и гипсовых формах применяют метод литья с последовательно направленной кристаллизацией (рис. 1.48).

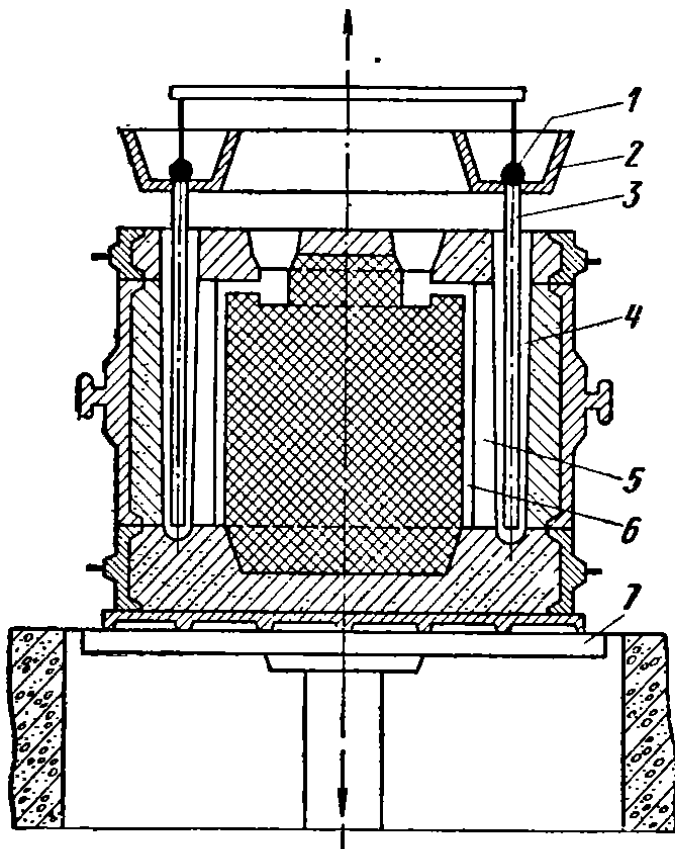


Рис. 1.48. Схема установки для литья с последовательно-направленной кристаллизацией

В форме выполняют литниковые колодцы 4, соединяющиеся с полостью формы 6 вертикальными щелевыми питателями 5 толщиной 4—7 мм. Собранный в трех опоках форму устанавливают на стол 7 гидравлического подъемника. Над формой ставят металлическую литниковую чашу 2 так, чтобы отверстия в ней совпали с колодцами в форме. Через отверстия в чаше опускают в колодцы нагретые металлические трубки 3 диаметром 12—20 мм, которые выполняют функцию стояков.

После заполнения чаши сплавом поднимают шаровые стопоры 1, и сплав по трубкам 3 поступает в литниковые колодцы, а затем через щели 5 в полость формы. Одновременно включают механизм опускания стола. Скорость опускания регулируют так, чтобы горячий сплав по мере заполнения полости формы непрерывно поступал в ее верхние слои. Это обеспечивает наиболее благоприятные условия для последовательно направленной (снизу—вверх) кристаллизации сплава, что способствует получению отливок без дефектов усадочного характера.

Методом последовательно направленной кристаллизации получают отливки высотой до 2,5 м со стенками толщиной 5—8 мм.

Процесс заливки сплава в форму осуществляют с помощью механических, пневматических и электромагнитных устройств. Для обеспечения стабильности работы механических устройств необходимо поддерживать постоянный уровень сплава в печи. При использовании пневматических заливочных устройств повышается газонасыщенность сплава. Электромагнитные устройства не имеют указанных недостатков. Магнитодинамические заливочные установки модели МДН-6А, техническая характеристика которых приведена ниже, позволяют осуществить полную автоматизацию процесса закрытой транспортировки сплава из плавильной печи к литейной форме. Установки просты в изготовлении.

Техническая характеристика установки МДН-6А

Потребляемая мощность, в кВт	30—40
Производительность по заливке через сливной металлопровод, в кг/с	0,5—3
Давление, развиваемое насосом, в ат	0,2—0,3
Напряжение на обмотках электромагнитных систем, в В	30—60
Плотность тока в сплаве, в А/мм ²	8—12
Емкость тигля, в кг	150
Габаритные размеры в м	1,5×1,2×1,5
Масса, в кг	460

2. ВЫБИВКА ИЗ ФОРМ И ОТДЕЛКА ОТЛИВОК

Продолжительность выдержки отливок в форме зависит от степени их сложности и от природы сплавов: опыт показывает, что чем сложнее отливка, тем больше выдержка отливки в форме до ее удаления из формы.

При небольшом масштабе литейного производства отливки удаляют из форм обычно на месте заливки с помощью пневматического подвешного вибратора и коромысел (табл. 1.92).

1.92. Характеристика пневматического вибратора и коромысел

Параметры	Вибратор 452	Коромысла модели		
		454	455	456
Производительность, число опок в час	8—10	30—60	30—60	30—60
Рабочее давление сжатого воздуха в ат	5—7	5—7	5—7	5—7
Максимальные размеры опок в мм	1500× ×1560× ×300	1000× ×800×400	1300× ×1000× ×500	1800× ×1500× ×600
Габаритные размеры отливок в мм	940×280× ×410	1700× ×200×880	2450× ×240× ×1150	3180× ×275× ×1325
Масса отливок в кг	170	150	240	280

После удаления формовочной смеси отливка поступает на участок выбивки стержней. Для удаления стержней в зависимости от их состояния и размеров можно использовать вибрационные стационарные установки и пневматические инструменты (зубило и др.). Для выбивки стержней из алюминиевых отливок также применяют установки электрогидравлического эффекта моделей 36131, 36141 и т. д., продолжительность очистки в которых составляет несколько минут при десятисекундном разряде и 100—150 импульсах.

После выбивки стержней и каркасов отливки поступают на ленточную пилу для обрезки выпоров (прибылей), литников. В крупных отливках (блоках цилиндров, картерах, корпусах реактивных двигателей и др.) прибыли часто располагаются перпендикулярно плоскостям разъема, поэтому для их обрезки целесообразно применять горизонтальные ленточные пилы. Для обрезки литников и прибылей у крупных отливок иногда применяют и дисковые пилы. Следует отметить, что производительность ленточных пил (табл. 1.93) значительно превосходит производительность дисковых пил.

1.93. Технические характеристики ленточных пил завода «Красный металлист»

Параметры	Ленточные пилы моделей			
	ЛС-80	ЛС-70-3	ЛС-70-1	ЛС-70-2
Диаметр пильного диска в мм	800	700	700	700
Наибольшая высота пропила в мм	450	330	380	380
Наибольшая ширина ленты в мм	35	30	30	30
Требуемая длина ленты в мм	5360	4600	4560	4500
Размеры поворотного стола в мм	900×775	700×750	750×750	750×750
Наибольший угол наклона в град	45	45	45	45
Частота вращения диска в об/мин	500	600	950	1000
Габаритные размеры станка в мм	700× ×1350× ×900	650× ×1450× ×950	630× ×1315× ×750	650× ×1315× ×750
Масса станка в кг	1400	1975	2100	2100

Обрезку прибылей крупногабаритных отливок массой более 100 кг выполняют на карусельных и фрезерных станках.

После обрезки питателей и прибылей отливки подвергают обрубке и зачистке: удаляют заусенцы, неровности, внутренние заливы, остатки выпоров и питателей. Окончательную гидropескоструйную очистку и очистку отливок с помощью электрокорундового зерна производят после заварки дефектов, контроля методом цветной дефектоскопии и термической обработки. Пористые отливки пропитывают различными лаками.

КОНТРОЛЬ ОТЛИВОК И МЕРЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ БРАКА

Отдел технического контроля (ОТК) осуществляет контроль качества отливок, выявляет брак отливок, а также вскрывает основные причины брака. С этой целью ОТК проверяет состояние формовочных и стержневых смесей, форм, режимы сушки форм и стержней, режимы плавки, температуру заливки форм сплавами и, наконец, готовые отливки (см. схему пунктов контроля литья).

После выбивки отливки осматривают. Признанные годными отливки поступают на обрезку, очистку, отделку или предварительную механическую обработку на станках.

Для выявления мелких наружных и внутренних дефектов крупногабаритные толстостенные и особо ответственные небольшие отливки подвергают дополнительному контролю одним из неразрушающих методов: ультразвуковым или люминесцентным, рентгенопросвечиванием, гамма-дефектоскопией, цветной дефектоскопией.

Метод рентгеновского контроля отливок основан на свойстве рентгеновских лучей проникать через материал отливки. При этом интенсивность прошедших через отливку лучей обратно пропорциональна толщине просвечиваемых сечений; при равной толщине стенок отливки интенсивность обратно пропорциональна плотности материала. Рентгеновское изображение можно преобразовать в видимое с помощью рентгеновской пленки (фотометод) или флуоресцирующего экрана (визуальный флуороскопический метод). Сильное почернение участков пленки (яркое свечение отдельных мест экрана) соответствует большей интенсивности падающих лучей, следовательно, меньшей толщине или плотности просвечиваемых сечений. Многие литейные дефекты усадочного и газового происхождения уменьшают плотность отливки, что фиксируется на пленке по темным пятнам или на экране по более ярким местам.

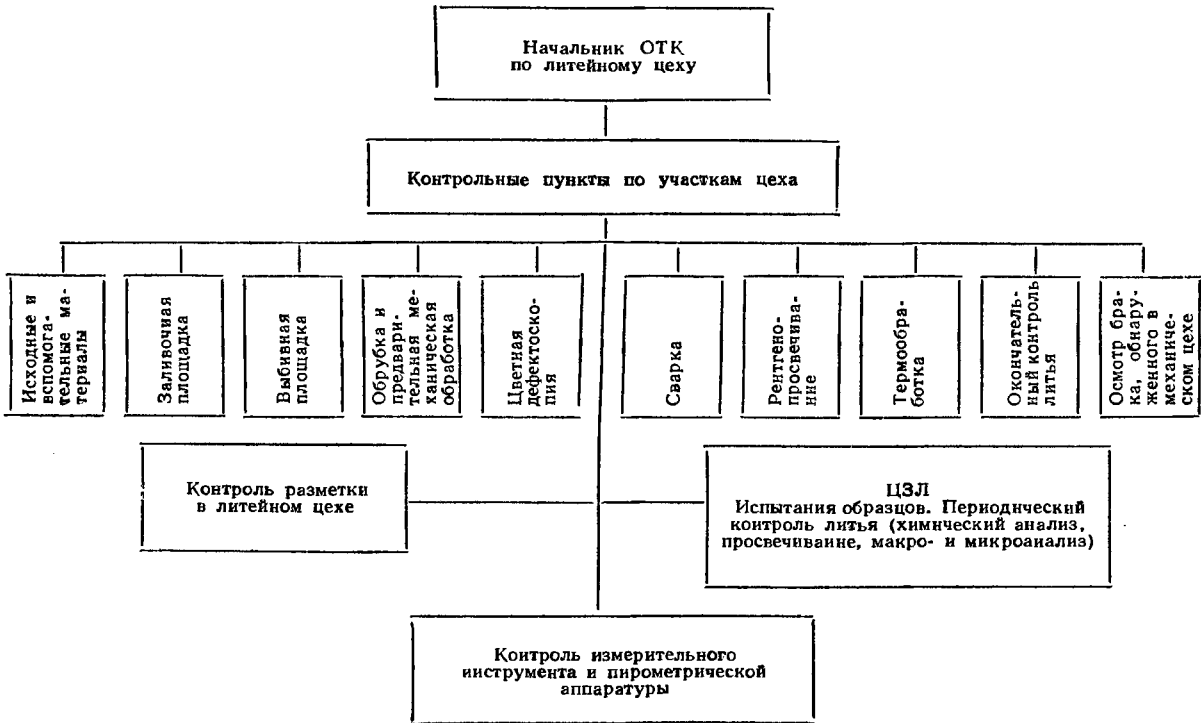
В промышленности фотографический метод распространен шире визуального, имеющего меньшую чувствительность к выявлению дефектов, но обладающего большей производительностью.

В литейных цехах нашли применение передвижные рентгеновские промышленные аппараты РУП-150/300-10-1, состоящие из генераторного устройства, штатива, трех защитных кожухов с рентгеновскими трубками, пульта управления и насоса для охлаждения трубки. В последние годы освоены установки электрографии ЭГУ-6 для получения рентгенограмм форматом не более 300×400 мм. Установка ЭГУ-6 позволяет полностью исключить применение рентгеновской пленки. Просвечивание ведут на фотополупроводниковую селеновую пластину, выдерживающую в среднем 5000 экспонирований. Копии рентгенограмм можно получать на обычной писчей бумаге. Установку обслуживает один человек.

На рентгенопросвечивание отливки поступают с отрезанными прибылями и литниками, очищенные от грязи, остатков стержней, оболочек, каркасов и холодильников. С поверхности отливок удаляют заливки и облон.

Основным техническим документом рентгеновского контроля серийной отливки является карта рентгеноконтроля, в которой приводят данные об отливке (номер по чертежу, название, сплав, габаритные раз-

Схема технологического контроля литья



меры, толщину стенки); технологические режимы просвечивания (фокусное расстояние в см, анодное напряжение в кВ и ток в мА, экспозиция в мин); число и тип пленки; схему разбивки отливки на позиции, подлежащие просвечиванию, с указанием допустимых дефектов по ТУ. При рентгеноконтроле отливок с помощью установок ЭГУ-6 (на селеновой пластине) в режиме просвечивания дополнительно указывают номера селеновых пластин, время проявления в секундах и время электризации.

Для воспроизведения рентгеновского изображения применяют различные рентгеновские пленки (РТ1 и РТ5), отличающиеся друг от друга контрастностью, разрешающей способностью и чувствительностью к рентгеновскому излучению.

При просвечивании сложных отливок с резкими перепадами толщины стенок на рентгенограмме получаются участки с различным почернением, что затрудняет ее расшифровку. Поэтому сложные отливки разбивают на отдельные участки и подбирают режимы для просвечивания каждого участка. В некоторых случаях используют фольгу или компенсаторы, выравнивающие почернения, чтобы уменьшить число позиций при просвечивании. Обычно используют фольгу тяжелых металлов (медь, свинец, олово), которые поглощают «мягкую» длинноволновую часть спектра рентгеновского излучения и способствуют его однородности.

После просвечивания пленку обрабатывают и по ней определяют дефекты, а затем дают оценку качества отливки, сравнивая с утвержденными эталонами. Участки расположения дефектов на отливке отмечают. В случае превышения размеров дефектов против допустимых по ТУ отливку направляют на исправление методом заварки:

Рентгеновский метод является наиболее эффективным при контроле внутренних дефектов в отливках из алюминиевых сплавов. Другие методы контроля для этой цели (ультразвуковой и гамма-дефектоскопия) не получили пока широкого применения. Это обусловлено тем, что алюминиевые отливки, как правило, имеют сложную конфигурацию (что затрудняет использование ультразвука) и относительно небольшие толщины стенок, при просвечивании которых чувствительность рентгеновского метода выше, чем метода гамма-дефектоскопии.

Наиболее чувствительными методами контроля наружных дефектов алюминиевых отливок являются капиллярные методы: цветная дефектоскопия и люминесцентный контроль. Оба метода основаны на капиллярном проникновении жидкости, обладающей большой смачивающей способностью, в полости наружных дефектов контролируемых отливок.

Метод цветной дефектоскопии позволяет выявлять поверхностные трещины шириной у выхода на поверхность от 0,001 мм и более и глубиной от 0,01 мм и более.

Технологический процесс цветной дефектоскопии состоит из следующих операций: приготовления смачивающей жидкости, подготовки поверхности отливки, нагрева отливки, окраски исследуемых поверхностей красителем и удаления излишков жидкости с поверхности, нанесения на поверхность отливки порошка силикагеля и осмотра контролируемых поверхностей отливки (выявления дефектных мест).

При цветной дефектоскопии применяют следующие материалы: керосин (ГОСТ 1842—52), трансформаторное масло (ГОСТ 982—68), скипидар, бензолазонафтол (судан I) (ГОСТ 3116—51), силикагель (ГОСТ 3956—54), сетку металлическую проволочную (ГОСТ 6613—53),

спирт этиловый технический (ГОСТ 17299—71), бензин (ГОСТ 443—56), бензол нефтяной чистый (ГОСТ 9572—58), коллодий медицинский (ГОСТ 4576—49), ацетон технический (ГОСТ 2768—69), коллоксилин лаковый (ГОСТ 5936—73), эфир этиловый (ГОСТ 6265—52), белила цинковые (ГОСТ 482—67), каолин.

Смачивающую жидкость (раствор красителя) готовят из 65% (по объему) керосина, 30% трансформаторного масла, 5% скипидара. Указанные материалы тщательно перемешивают, а затем вводят бензоланафтол (судан I) в количестве 5—10 г на 1 л смеси смачивающей жидкости. Смачивающую жидкость можно использовать в течение 2—3 месяцев после ее приготовления.

Предварительно механически обработанные отливки и детали с литейными поверхностями, не подлежащими механической обработке, перед дефектоскопией должны быть обезжирены в бензине или этиловом спирте. Затем их нагревают до температуры 50—80° С и тщательно покрывают раствором красителя. Через 30 мин краситель удаляют и на поверхность наносят равномерным тонким слоем зубной порошок или силикагель. Вместо силикагеля или зубного порошка применяют белую краску, состоящую из 70% коллодия медицинского на спиртоэфирной основе, 20% бензола, 10% ацетона и 5 г густотертых цинковых белил на 100 мл смеси.

После нанесения слоя порошка силикагеля на его белом фоне в местах расположения дефектов на поверхности детали появляются красные точки, пятна, прямые и извилистые линии.

Дефекты определяют по следующим основным признакам: а) трещины обозначаются резкими красными линиями на белом или светло-розовом фоне порошка силикагеля; б) поры — отдельными пятнами; в) межкристаллитная коррозия — межзеренной мелкой сеткой, иногда размытыми полосами.

Осмотр контролируемой детали производят через 30 мин после нанесения порошка силикагеля.

Необходимо отметить, что в состав входят легковоспламеняющиеся вещества. Поэтому при контроле методом цветной дефектоскопии следует строго соблюдать правила техники безопасности и санитарные правила при работе с красками, в состав которых входит бензол.

Люминесцентный метод рекомендуется для межоперационного контроля отливок после литья и термической обработки, а также после промежуточной и окончательной механической обработки.

Аппаратура для люминесцентного контроля состоит из трех основных частей: источника ультрафиолетового излучения, отражателя лучей и светофильтра для отделения ультрафиолетовой части спектра от видимой. В качестве источника излучения используют ртутно-кварцевые лампы (типа ПРК-2, ПРК-4 и др.). Отражателем обычно является листовой алюминий, обладающий высоким коэффициентом отражения ультрафиолетовых лучей. В качестве светофильтра применяют черные стекла типа УФС-3 или УФС-4.

Размеры отливок контролируют с помощью обычных мерительных инструментов или специальных шаблонов и калибров. Систематический контроль размеров отливок позволяет своевременно предупредить брак из-за износа или коробления моделей и стержневых ящиков. Для проверки стабильности режимов термической обработки проводят испытания на твердость. В исключительных случаях проводят контроль отливок на герметичность.

1.94. Дефекты отливок из алюминиевых сплавов и меры их предупреждения

Дефекты	Причины их возникновения	Меры предупреждения
Несоответствие химического состава	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неправильная шихтовка или неточное определение химического состава сплава. 2. Неправильная методика отбора пробы для химического анализа. 3. Нарушение технологии плавки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Улучшение методики шихтовки. 2. Улучшение методики отбора пробы сплава. 3. Ведение плавки в соответствии с ранее проведенным анализом шихты
Газовая пористость, обычно располагающаяся по всему объему отливки, в особенности в массивных местах	<ol style="list-style-type: none"> 1. Загрязненность шихты. 2. Недостаточная просушка футеровки плавильной печи или разливочного ковша. 3. Повышенная влажность формы. 4. Наличие в форме органических примесей (угля или других веществ). 5. Недостаточное рафинирование и модифицирование сплава, в особенности сплавов типа АЛ2, АЛ4 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение контроля формовочных смесей. 2. Улучшение просушки футеровки ковша и печи. 3. Тщательная очистка шихты и улучшение ее сушки. 4. Подбор более рационального метода рафинирования жидкого металла. 5. Улучшение просушки модификатора. 6. Увеличение скорости кристаллизации отливки (холодильниками). 7. Применение кристаллизации отливок (в особенности для сплавов АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9) под давлением
Газовые раковины	<ol style="list-style-type: none"> 1. Попадание в формовочную смесь органических веществ (угольной пыли и т. д.). 2. Плохая обработка холодильников. 3. Повышенная газонасыщенность металла 4. Плохой отвод газов в процессе заполнения металлом формы 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Улучшение рафинирования. 2. Тщательная сушка холодильников 3. Спокойное заполнение формы

Дефекты	Причины их возникновения	Меры предупреждения
Шлаковые или флюсовые включения, наиболее часто появляющиеся в местах перехода стенок, подвода литниковых щелей, в массивных частях, в карманах, не имеющих сообщения с выпорами, а также в местах, близких к выпорам	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенная загрязненность шихты. 2. Плохо очищена поверхность ваны жидкого сплава. 3. Недостаточно отрафинирован сплав (малая выдержка сплава после рафинирования). 4. Неправильно выбрана литниковая система (захват пузырьков воздуха и образование окисных плен, падение струи сплава в полость формы, перерыв струи) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Улучшение методики рафинирования сплава. 2. Увеличение времени выстаивания сплава после рафинирования. 3. Улучшение очистки поверхности жидкой ваны. 4. Выбор соответствующей литниковой системы
Незаполнение формы (недоливы)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Понижение жидкотекучести вследствие отклонения от оптимального химического состава. 2. Заливка холодным сплавом. 3. Недостаточный напор жидкого сплава в стояке (замедленная заливка). 4. Утечка сплава из формы (плохая сборка). 5. Недостаточная порция сплава, поданная в форму 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение количества эвтектики в сплаве путем шихтовки на оптимальный химический состав сплава. 2. Повышение температуры заливки. 3. Увеличение порции сплава. 4. Лучшее промазывание формы и опоки в местах их соединения. 5. Тщательная проверка установки литниковой системы
Нарушение сплошности отливки (окисные спай), наиболее часто проявляется в тонких сечениях отливки или в местах разрыва потока жидкого сплава	<ol style="list-style-type: none"> 1. Перерыв струи сплава. 2. Малое сечение стояка или питателей (медленное заполнение формы). 3. Плохая вентиляция формы. 4. Очень сложная форма 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение температуры сплава и ускорение заполнения сплавом формы. 2. Обеспечение спокойного заполнения формы. 3. Не допускать перерыва струи сплава (заплесков, потегов) 4. Изменение сечений стояка и питателей. 5. Повышение газопроницаемости (газоотводы) формовочной и стержневой смесей

Продолжение табл. 1.94

Дефекты	Причины их возникновения	Меры предупреждения
Всплывы (окисные складки, образовавшиеся при «кипении» сплава)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Местное скопление влаги в форме. 2. Плохая подготовка холодильников (окраска, сушка). 3. Плохая вентиляция формы (низкая газопроницаемость). 4. Установка непродушенных стержней. 5. Чрезмерное уплотнение отдельных участков формы 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применить смеси и стержней с минимальной газотворной способностью. 2. Улучшение перемешивания формовочной смеси. 3. Снижение влажности смеси (влажность не должна превышать 6,5%). 4. Улучшение окраски и просушки холодильников. 5. Увеличение числа наколов для выхода газов; улучшение системы газоотводов. 6. Повысить равномерность уплотнения формы
Тонкие пленки окислов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Грубое нарушение технологии. 2. Захват окисной пленки струей металла. 3. Захват пузырьков воздуха и скопление газа (в виде «мешков») 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Перед разливкой тщательно снять окислы с поверхности жидкого металла. 2. Проверить выполнение технологии заливки
Песчаные засоры, наиболее часто наблюдаемые в нижних частях поверхностей отливки (на флянцах, бобышках и т. д.)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Слабое уплотнение формы. 2. Недостаточное число шпилек и каркасов. 3. Несоответствие в размерах знаков. 4. Небрежная работа формовщика. 5. Нетехнологичная конструкция отливки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проверить состав формовочной смеси. 2. Установить необходимое число шпилек и каркасов в соответствии со сложностью формы. 3. Усилить крепления выступающих частей в форме. 4. Улучшить инструктаж рабочих. 5. Изменить конструкцию отливки

Дефекты	Причины их возникновения	Меры предупреждения
Обвал формы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Слабое уплотнение формы. 2. Недостаточное число шпилек 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличить уплотнение формы и особенно под крестовинами опок и в местах, где возможны обвалы формы. 2. Улучшить расположение каркаса. 3. Увеличить число шпилек и улучшить их протановку
Усадочные раковины и рыхлоты	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отклонение от оптимального химического состава. 2. Недостаточное питание отливки жидким металлом при ее кристаллизации. 3. Недостаточно массивные выпоры или нерациональная их установка. 4. Неправильная установка холодильников 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Шихтовка по оптимальному составу для обеспечения максимального количества эвтектики в сплавах. 2. Понизить температуру и скорость заливки. 3. Увеличить массивность выпоров, а также производить подпнывание избыточной части отливки. 4. Усилить захлаживание массивной части отливки в процессе ее кристаллизации
Горячие и холодные трещины, возникающие при кристаллизации (первые) и при охлаждении отливок (вторые), хорошо выявляются при рентгеновском просвечивании или люминесцентном контроле	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неправильно выбран сплав. 2. Нетехнологичная конструкция отливки (наличие острых углов, резких переходов сечений). 3. Недостаточная податливость стержней. 4. Затрудненная усадка отдельных участков отливки (установка холодильников с малыми зазорами) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выбрать сплав с учетом требований отливки. 2. Устранить острые углы, увеличить радиусы в галтелях, создать плавные переходы от толстых сечений к тонким. 3. Увеличить податливость стержней и уменьшить уплотнение смеси. 4. Делать насечки в тех местах формы, против которых появляются трещины в отливках. Образование малых ребер (шероховатостей) на поверхности отливок устраняет трещины

Продолжение табл. 1.94

Дефекты	Причины их возникновения	Меры предупреждения
Ужимы (длинные узкие вмятины в теле отливки, наслоения металла, отделенные прослойкой формовочной смеси)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нарушение технологии приготовления формовочной смеси. 2. Неравномерное уплотнение формы, вызывающее неравномерное расширение слоев формы при заполнении ее металлом 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тщательнее перемешивать формовочную смесь. 2. Равномернее уплотнять форму. 3. Рассредоточить подвод металла в форму
Крупная и столбчатая структура	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая температура заливки. 2. Неправильный отвод теплоты в процессе кристаллизации отливок 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Присадка малых добавок, измельчающих зерна (титан, ванадий и др.). 2. Увеличить скорость кристаллизации
Ликвация, — неоднородность в разных точках отливки химического состава сплава	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая температура заливки. 2. Плохое перемешивание жидкого сплава. 3. Избыток ликвирующего компонента в сплаве, например марганца в сплаве типа АЛ13 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Уменьшить температуру заливки 2. Улучшить перемешивание жидкого сплава. 3. Снизить верхний предел допуска ликвирующего компонента
Отклонение по геометрии (смещение бобышек и разностенность) или отклонение, вызванное неравномерным изменением в объеме отливки при ее охлаждении после кристаллизации	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неправильно учтена усадка сплава при изготовлении модели. 2. Перекос штырей у модельных плит. 3. Нарушение технологии сборки форм (ошибки при формовке, изготовлении стержней и сборке форм) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проверить величину усадки сплава и учесть степень сложности отливки. 2. Устранить перекося штырей у модельных плит. 3. Собрать форму по шаблонам с проверкой зазоров в форме щупом. 4. Уточнить знаковые части стержней и моделей. 5. Устранить острые углы в отливке

Дефекты	Причины их возникновения	Меры предупреждения
Негерметичность отливки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенная пористость и усадочная рыхлость. 2. Неправильно подобран сплав. 3. Неправильная технология литья 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Улучшить рафинирование сплава. 2. Заменить сплав. 3. Повысить скорость кристаллизации сплава. 4. Улучшить питание отливки в процессе кристаллизации
Механические повреждения при опиловке, зачистке и обрубке (зарезы, риски, вылом тела и др.)	Небрежная работа опиловщиков и обрубщиков	Улучшить работу опиловщиков и обрубщиков, в особенности при выбивке и механической очистке отливок из сплавов типа твердых растворов (АЛ7, АЛ8)
Несоответствие механических и других свойств образцов или отливок	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нарушение технологии приготовления рабочего сплава. 2. Нарушение технологии модифицирования или рафинирования сплава. 3. Нарушение технологии термической обработки: <ol style="list-style-type: none"> а) заниженная температура нагрева под закалку; б) недостаточная выдержка отливки в печи; в) замедленный процесс закалки; г) завышенная температура закалки (пережог) 	Точное выполнение технологии плавки, рафинирования и модифицирования сплава, а также строгое соблюдение технологии термической обработки отливки

Примечание. В таблице приведены дефекты, характерные для литья алюминиевых сплавов в песчаные формы.

Помимо указанных методов контроля, в соответствии с требованиями технических условий особо ответственные отливки подвергают исследованию, при котором разрезают определенное число отливок (каждую десятую, каждую пятидесятую и т. д.) с целью всестороннего изучения микроструктуры, химического состава и механических свойств.

Отливки, прошедшие контроль, подразделяют на три группы: 1) годные, 2) с исправимым браком, 3) с окончательным браком. Дефекты отливок второй группы разрешается исправлять заваркой, замазкой или пропиткой.

Для успешной борьбы с браком очень важно уметь правильно распознавать выявляемые дефекты отливок и правильно устанавливать причины их образования (табл. 1.94).

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Термическая обработка литых деталей из алюминиевых сплавов способствует их значительному упрочнению, в ряде случаев улучшению обрабатываемости резанием, повышению коррозионной стойкости и т. д.

Так как термической обработке очень часто подвергаются детали, прошедшие трудоемкие операции механической обработки, то брак, образовавшийся в процессе термической обработки деталей, обходится дорого. Вследствие этого термическая обработка деталей должна осуществляться с большой тщательностью, в хорошо проверенных печах, с применением точных пирометрических приборов.

При недостаточно точном показании приборов или значительном перепаде температур в различных зонах печи может произойти пережог деталей в процессе их нагрева под закалку. Чем точнее показания приборов, чем меньше перепад температуры в различных зонах печи, тем больше возможности проведения закалки с максимальной температурой нагрева, получения более высоких механических свойств деталей.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Раньше было сказано, что изменение механических свойств металлов и сплавов зависит от их структурного состояния. В свою очередь, структурные изменения происходят вследствие воздействия как внешних механических сил (пластическая деформация), так и температурного фактора в течение соответствующего времени.

Таким образом, в зависимости от химического состава сплава, состояния и назначения деталей, заготовок и полуфабрикатов, а также в зависимости от условий их эксплуатации может быть применен тот или другой вид термической обработки.

По классификации А. А. Бочвара, предложенной еще в 1932 г., все виды термической обработки разделяются на пять больших групп:

Отжиг первого рода включает возврат, рекристаллизацию и гомогенизацию, предназначенные в основном для однофазных металлов и сплавов или для многофазных сплавов, когда фазовые превращения практически незаметны.

Отжиг второго рода включает стабилизацию структуры и процесс фазовых превращений. Таким образом, фазовая перекристаллизация является основным отличием отжига второго рода от отжига первого рода.

Закалка включает процессы максимального растворения легирующих элементов при температуре выше температуры фазовых превращений и быстрое охлаждение (фиксация пересыщенного твердого раствора) с целью получения повышенной прочности материала при максимальной его пластичности.

Отпуск главным образом изменяет состояние твердого раствора закаленного сплава переходом кристаллической решетки в более устойчивое состояние, что характеризуется процессом распада твердого раствора. Процесс распада твердого раствора протекает тем быстрее, чем выше температура отпуска (старения).

Химико-термическая обработка позволяет осуществить нагрев в соответствующих химических средах для упрочнения поверхностных слоев обрабатываемого металла или для нанесения на него защитного поверхностного слоя.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Классификация режимов термической обработки литых деталей из алюминиевых сплавов, широко распространенная в СССР и за рубежом, приведена в табл. 1.95.

Процессы, происходящие при термической обработке

Низкотемпературный отпуск или искусственное старение (режим T1). Искусственное старение без специальной закалки обуславливает некоторое дисперсионное твердение за счет частичного распада твердого раствора алюминия, образовавшегося в процессе охлаждения после кристаллизации отливки. Обычно эта термическая обработка позволяет повысить твердость и прочность деталей примерно на 30% от прочности литого состояния деталей (для сплавов АЛ3, АЛ5 и др.).

Отжиг (стабилизация) (режим T2). В процессе отжига, т. е. при длительных выдержках в условиях действия высоких температур (порядка 250—300° С), в значительной мере уменьшается степень искажения кристаллической решетки твердого раствора легирующих элементов в алюминии и происходит коагуляция частиц вторых фаз, образовавшихся при распаде твердого раствора. Это обуславливает снятие внутренних напряжений и увеличение пластичности деталей (за исключением деталей из сплавов типа АЛ7 и АЛ8).

Выдержку и температуру отжига определяют в зависимости от природы сплава и назначения деталей (табл. 1.95).

Закалка (режим T4). Режим закалки включает следующие операции:

1) медленный нагрев деталей с контрольными образцами до температуры закалки, чтобы не допускать резкого и неравномерного прогрева деталей, что может вызвать их коробление или оплавление местных скоплений эвтектических образований:

2) длительная выдержка деталей при температуре закалки, достаточная для максимального растворения упрочняющих компонентов сплава или образуемых ими фаз (Mg_2Si , Al_3Mg_2 и др.);

3) резкое охлаждение — закалка с целью создания (фиксирования) максимально возможного пересыщенного твердого раствора легирующих элементов в алюминии для придания сплаву достаточно высокой прочности и максимальной пластичности (сплавы АЛ7, АЛ8 и др.).

Продолжительность выдержки при температуре закалки определяется природой сплава и состоянием структуры отливок (методом литья). Например, детали, полученные в песчаных формах, имеют более грубую структуру по сравнению с деталями, полученными в кокиле, поэтому выдержка первых деталей должна быть на 20—50% больше выдержки вторых деталей. При этом следует учитывать, что чем выше температура закалки, тем меньше выдержка. Для достижения максимальных свойств рекомендуется применять ступенчатую закалку.

1.95. Классификация режимов термической обработки литых деталей из алюминиевых сплавов

Обозначение режима	Режим	Назначение режима	Примечание
T1	Низкотемпературный отпуск (искусственное старение) без предварительной специальной закалки	1. Улучшение обрабатываемости резанием литых деталей с целью повышения чистоты обработки. 2. Повышение механической прочности (до 30%) деталей из таких сплавов, как АЛ3 и АЛ5	Литье в сырую песчаную форму или в кокиль обеспечивает достаточную степень подкалки, что позволяет иметь хороший эффект от применения режима искусственного старения. При таком искусственном старении литых деталей происходит незначительное изменение фазового состава сплавов
T2	Отжиг (стабилизация)	Снятие литейных или термических внутренних напряжений	При температуре 250—300° С и длительной выдержке достигается более устойчивое состояние сплава, что гарантирует относительное постоянство размеров деталей
T4	Закалка	1. Повышение прочностных свойств деталей из сплавов АЛ3, АЛ4, АЛ5 и др. до 150%, а из сплавов АЛ7 и АЛ8 — до 250% по отношению к исходной прочности. 2. Увеличение коррозионной стойкости деталей, работающих при температурах не выше 100° С. 3. Для резкого повышения пластичности деталей	1. В зависимости от природы сплава и сложности отливок по конфигурации условия загрузки, нагрева, выдержки и охлаждения могут быть разными. 2. Детали от закалки до конца механической обработки обычно проходят путь в течение нескольких дней, поэтому режим T4 практически отвечает режиму закалка + естественное старение

Продолжение табл. 1.95

Обозначение режима	Режим	Назначение режима	Примечание
T5	Закалка и кратковременное искусственное старение	Получение достаточно высокой прочности, повышенного предела текучести при сохранении повышенной пластичности деталей	Искусственное старение осуществляется при пониженных температурах (150—170° С) и небольшой выдержке (3—5 ч), что отличает его от режима T6
T6	Закалка и длительное искусственное старение (максимальное упрочнение)	Получение максимальной прочности за счет некоторого снижения пластических свойств деталей	Искусственное старение осуществляется в условиях повышенных температур (175—185° С) и продолжительной выдержки (5 ч и более)
T7	Закалка и стабилизация	Получение достаточной прочности и стабильности деталей (по структуре и объемным изменениям)	Рекомендуется температура отпуска, близкая к рабочей температуре деталей. Продолжительность выдержки в этом случае определяется назначением детали
T8	Закалка и смягчающий отпуск	Получение повышенной пластичности за счет снижения прочностных свойств деталей	Отпуск осуществляется при высоких температурах (230—330° С)

Закалка + искусственное старение (режимы Т5 и Т6). При старении происходит процесс распада твердого раствора, обуславливающий высокое дисперсионное твердение.

Сочетание закалки с последующим искусственным старением обеспечивает получение наиболее высокой прочности деталей. Время выдержки и температура старения определяются природой сплава.

Закалка + отпуск (режимы Т7 и Т8). Температура отпуска по режимам Т7 и Т8 несколько выше температуры искусственного старения. Поэтому в процессе отпуска происходит не только распад твердого раствора, но и коагуляция частичек вторых фаз, образовавшихся в процессе термической обработки. Применение режимов Т7 и Т8 обеспечивает деталям несколько пониженную прочность и повышенную пластичность по сравнению с деталями, прошедшими искусственное старение.

4. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Детали, подлежащие термической обработке, должны быть рассортированы по сплавам и габаритным размерам.

В случае некруглосуточной работы печей вначале рекомендуется обрабатывать детали, требующие самые низкие температуры термической обработки, например детали из сплава АЛ8, а затем детали, требующие более высокие температуры.

Детали из сплавов АЛ8 и АЛ13 следует нагревать в электропечах. Эти детали нельзя обрабатывать в селитровых ваннах, так как селитра энергично реагирует с магнием (до взрыва).

Для термической обработки несложных и мелких, но толстостенных деталей из сплавов АЛ3, АЛ5, АЛ6, АЛ7 и АЛ9 целесообразно применять селитровые ванны.

Мелкие детали, подлежащие термической обработке, следует группировать в одну садку, используя для этой цели специальные корзины и приспособления. Крупногабаритные детали рекомендуется обрабатывать в методических печах, имеющих конвейерное устройство. Детали, склонные к короблению, необходимо подавать в печь на специальных поддонах или с применением соответствующих приспособлений (скрепляющих рамок, крестовин и т. д.).

Детали из сплавов, склонных к сильному окислению при высоких температурах, рекомендуется термически обрабатывать в ящиках с сухой окисью алюминия или с мелкой сухой шамотной глиной.

Сложные по конфигурации детали рекомендуется прогревать до температуры закалки в течение не менее 2 ч, после чего выдерживать (табл. 1.96), что способствует уменьшению брака по короблению и местному пережогу.

Для получения наибольшего эффекта закалки детали следует подавать из печи в закалочный бак с максимальной скоростью (время переноса не более нескольких секунд). Это можно достичь при механизированной подаче нагретых деталей из печи в закалочный бак и близком расположении (не более 1,5 м) закалочного бака и термических печей.

В случае обработки в селитровых ваннах детали после закалки необходимо промывать в горячей (30—50° С) воде для удаления следов селитры. Промывку следует производить максимально быстро, чтобы не допустить явлений старения.

1.96. Типичные режимы термической обработки литейных алюминиевых сплавов

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание	
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда		
АЛ1	T5	515 ±5	2—5	Вода 20—100	175 ±5	3—5	Воздух	Для деталей, несущих средние нагрузки	
	T7				230 ±10	2—4			
АЛ2	T2	—	—	—	300 ±10	2—4		Для деталей, несущих малые нагрузки	
АЛ3	T1	—	—	—	175 ±5	3—5	Воздух или вместе с печью	Для снятия остаточных напряжений и обеспечения постоянства размеров деталей	
	T2	—	—	—	300 ±10	2—4			
	T5	Ступенчатый нагрев: I) 515 ±5 II) 525 ±5	2—4 2—4	—	175 ±5	3—5	Воздух	Для крупных деталей, несущих средние нагрузки и работающих при температуре до 175° С	
	T7	515 ±5	3—6	Вода. 20—100	230 ±10	3—5			Для деталей, работающих при повышенной температуре
	T8	515 ±5	3—6		330 ±5	3—5			

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда	
АЛ4	T1	—	—	—	175 ±5	5—17	Воздух	Для деталей, несущих средние нагрузки
	T6	535 ±5	2—6	Вода, 20—100	175 ±5	10—15		Для крупных деталей, несущих большие нагрузки
АЛ4М	T6	Ступенчатый нагрев: I) 490 ±5 II) 500 ±5 III) 510 ±5	4 4 6	Вода, 20—100	160 ±5	8—15		Для крупных деталей, несущих большие нагрузки
		I) 515 ±5 II) 525 ±5	4 8		160 ±5	8—15		Для деталей, полученных литьем в кокиль
АЛ5	T1	—	—	—	180 ±5	5—10	Для деталей, несущих средние нагрузки	
	T5	525 ±5	3—5	Вода, 20—100	175 ±5	5—10	Для деталей, несущих большие нагрузки	
	T6	525 ±5	3—5		200 ±5	3—5	Для деталей, работающих при повышенной температуре	

Продолжение табл. 1.96

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда	
АЛ5	T7	Ступенчатый нагрев: I) 515 ±5 II) 525 ±5	3—5 1—3	Вода, 20—100	230 ±10	3—5	Воздух	Для массивных деталей, несущих средние нагрузки
		525 ±5	3—5		230 ±10	3—5		Для обеспечения повышенной пластичности и стабильности размеров крупных деталей, несущих большие нагрузки
АЛ6	T2	—	—	—	300 ±10	2—4		Для устранения остаточных напряжений и обеспечения постоянства размеров деталей
АЛ7	T4	515 ±5	10—15	Вода, 80—100	—	—	—	Для повышения предела прочности и пластичности деталей
	T5				150 ±5	2—4	Воздух	Для повышения предела текучести и твердости деталей
АЛ8	T4	430 ±5	15—20	Масло, 40—50	—	—	—	Для повышения предела прочности и коррозионной стойкости деталей

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда	
АЛ9	T2	—	—	—	300 ±10	2—4	—	Для устранения остаточных напряжений и обеспечения постоянства размеров деталей
	T4	535 ±5	2—6	Вода, 20—100	—	—	—	Для получения повышенной пластичности деталей
	T5				150 ±5	1—3	Воздух	Для повышения предела текучести и твердости деталей
	T6				200 ±5	2—5		Для получения максимального предела прочности деталей
	T7				225 ±10	3—5		Для обеспечения стабильности размеров деталей
	T8				250 ±10	3—5		Для повышения пластичности и стабильности размеров деталей
—					—	—		
АЛ11	T2	—	—	—	300 ±10	2—4	—	

Продолжение табл. 1.95

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание	
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда		
АЛ19	T4	Ступенчатый нагрев: I) 530 ±5 II) 545 ±3	5—9 5—9	Вода, 20—100	—	—	—	Для повышения пластичности и предела прочности деталей	
		545 ±3	10—12		—	—	—		
	T5	Ступенчатый нагрев: I) 530 ±5 II) 545 ±3	5—9 5—9		10—12	175 ±5	3—5	Воздух	Для повышения предела текучести деталей
		545 ±3	10—12			175 ±5	3—5		
	T7	Ступенчатый нагрев: I) 530 ±5 II) 545 ±3	5—9 5—9		—	250 ±10	3—10		
	T2	—	—		—	300 ±10	2—4	Воздух или с печью	Для снятия остаточных напряжений и обеспечения постоянства размеров деталей

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда	
АЛ22	T4	425 ± 5	15—20	Вода, 100 или масло, 40—50	—	—	—	Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости деталей
АЛ24	T5	580 ± 5	4—6	Вода, 100 или воздух	120 ± 5	8—10	Воздух	Для деталей, несущих большие нагрузки
ВАЛ5	T5	535 ± 5	10—16	Вода, 20—100	175 ± 5	6		
ВАЛ1	T4	Ступенчатый нагрев: I) 535 ± 5 II) 545 ± 5	7—9 7—9		—	—	—	
		545 ± 5	10—12		—	—	—	
	T5	Ступенчатый нагрев: I) 535 ± 5 II) 545 ± 5	7—9 7—9	175 ± 5	3—6	Воздух	Для деталей, работающих при температурах 300—350° С	

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда	
АЛ20	T5	Ступенчатый нагрев: I) 500 ± 5 II) 515 ± 5	2—3 2—3	Вода, 20—100	175 ± 5	3—5	Воздух	Для получения максимального предела прочности деталей, работающих при температуре до 175° С
	T7	Ступенчатый нагрев: I) 500 ± 5 II) 515 ± 5	2—3 2—3		250 ± 10	10		Для деталей, работающих при температуре до 250° С
АЛ21	T2	—	—	—	300 ± 10	5—10		Для сложных по конфигурации деталей, работающих при температурах 300—350° С
	T7	Ступенчатый нагрев: с 300 до 500 I) 500 ± 5 II) 525 ± 5	2 2 2—5	Вода, 80—100	300 ± 10	3—10	Для деталей, несущих большие нагрузки	

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание	
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда		
АЛ25	T1	—	—	—	210 ±10	10—12	Воздух	Для обеспечения максимальной стабильности деталей	
АЛ26	T2	—	—	—	230 ±10	10—12			
АЛ30	T1	—	—	—	200 ±5	10—12			
АЦР-1	T1	—	—	—	200 ±5	10—12			
АЛ27	T4	435 ±5	10	Вода, 80—100	—	—	—	Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости деталей	
	T4	Ступенчатый нагрев: I) 435 ±5 II) 455 ±5	4 4		—	—			
АЛ27-1	T4	435 ±5	10—20		—	—			—
	T4	Ступенчатый нагрев: I) 435 ±5 II) 455 ±5	4 4		—	—			—

Сплав	Вид термической обработки	Закалка			Старение			Примечание	
		Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда и температура в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Охлаждающая среда		
АЛ23	T4	435 ±5	10	Вода, 80—100	—	—	—	Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости деталей	
	T4	Ступенчатый нагрев: I) 435 ±5 II) 455 ±5	4 4		—	—			
АЛ23-1	T4	435 ±5	10		—	—			—
	T4	Ступенчатый нагрев: I) 435 ±5 II) 455 ±5	4 4		—	—			—

Примечания: 1. Одноступенчатый нагрев под закалку сплавов АЛ19 и ВАЛ1 рекомендуется для тонкостенных (до 30 мм) и несложных по конфигурации деталей или при условии нагрева деталей в печи, обеспечивающих повышенную точность температурного режима нагрева.

2. Для уменьшения внутренних напряжений крупногабаритные сложные по конфигурации детали из сплавов АЛ1, АЛ5, АЛ7, АЛ20 рекомендуется закалывать в воде с температурой 80—100° С.

5. МЕХАНИЗМ УПРОЧНЕНИЯ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ СПЛАВОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Сплавы с помощью термической обработки можно как упрочнять, так и разупрочнять. Сущность механизма упрочнения и разупрочнения описана ниже на примерах для сплава АЛ7.

При легировании α -твердого раствора атомами других металлов обычно усиливается межатомная связь, а степень пересыщения твердого раствора повышает напряжение кристаллической решетки. Этим и объясняется, почему в закаленном состоянии сплав имеет большую прочность, чем в литом.

Процесс распада пересыщенного твердого раствора протекает очень сложно. Он состоит из перемещений и концентрации атомов по определенным плоскостям кристаллической решетки, что вызывает ее искажение. Чем больше искажение кристаллической решетки, тем выше прочность сплава.

На типичном электронномикроскопическом снимке структуры твердого раствора сплава АЛ7, состаренного при 150°C в течение 10 ч, точечные скопления относятся к 1-м зонам Гинье-Престона, а полосчатые скопления—ко 2-м зонам. Чем больше таких точечных или полосчатых скоплений (белые точки или полосы) внутри кристаллической решетки, тем больше степень ее искажения и, следовательно, выше прочность сплава.

В период образования (при повышенных температурах) полосчатых зон Гинье-Престона возникают частички промежуточной фазы, которые еще связаны с кристаллической решеткой маточного твердого раствора, причем общая плоскость имеет максимальное напряжение.

Если в процессе образования зон Гинье-Престона возникают и частички стабильной фазы, когда из промежуточной θ' -фазы формируется небольшое количество фазы CuAl_2 , имеющей поверхность раздела с α -твердым раствором, то в этом случае решетка твердого раствора становится менее напряженной, что отвечает разупрочнению сплава.

В зависимости от природы сплава, степени концентрации α -твердого раствора и условий термической обработки скорости указанных выше процессов могут сильно меняться и, следовательно, изменять степень эффекта термической обработки.

Для обоснования выбранного режима старения сплава В124 были проведены электронномикроскопические исследования. Из снимков оксидной реплики (рис. 1.49), характеризующей структуру твердого раствора сплава В124 в закаленном состоянии, залитого в песчаную форму и в кокиль, видно, что в процессе охлаждения прошла первоначальная стадия старения, т. е. успели образоваться ЗГП (зоны Гинье-Престона) и скопления ультрадисперсных частиц кремния, выделившихся из твердого раствора, которые при отделении оксидной реплики отрывались вместе с ней. Сравнение этих снимков показывает, что плотность ЗГП в твердом растворе сплава В124, залитого в песчаные формы, значительно меньше плотности ЗГП в твердом растворе сплава, залитого в кокиль. Это можно объяснить тем, что степень пересыщения твердого раствора в последнем образце, вероятно, выше и степень искажения кристаллической решетки твердого раствора также выше, что ускоряет процесс формирования ЗГП, а также и ультрадисперсных частиц кремния.

В твердом растворе сплава В124, залитого в кокиль, после старения при 150°C в течение 24 ч плотность образования ЗГП, а также количество скоплений ультрадисперсных частиц кремния больше, чем

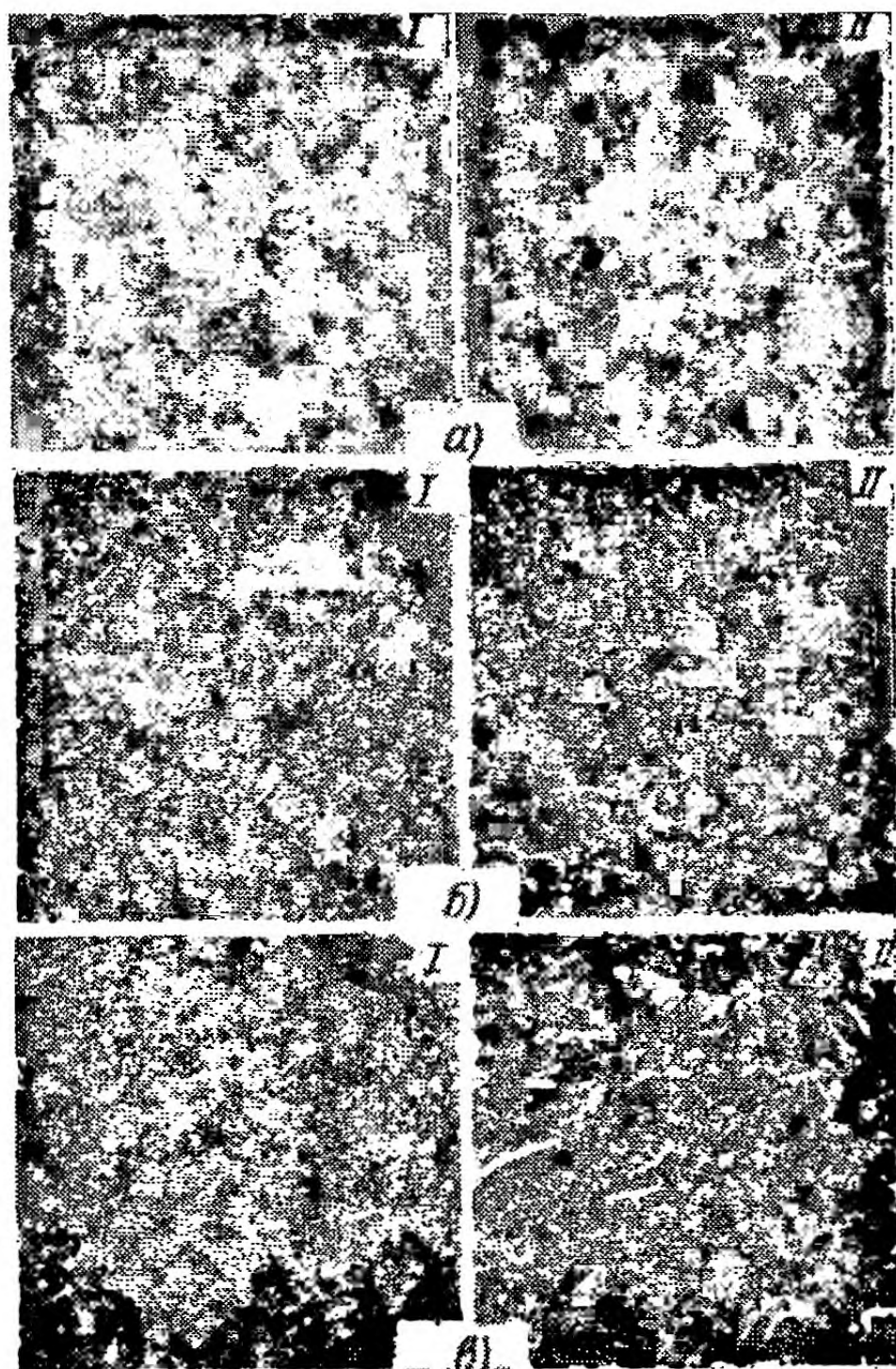


Рис. 1.49. Структура сплава В124 ($\times 10\,000$):
а — закаленного; *б* — состаренного при 150°C в течение 24 ч; *в* — состаренного при 160°C в течение 10 ч; I — литье в песчаные формы; II — литье в кокиль

в сплаве В124, залитом в песчаные формы и состаренном по тому же режиму (см. рис. 1.49, б). Поэтому механические свойства образцов, залитых в кокиль, выше, чем образцов, залитых в песчаные формы (табл. 1.97).

1.97. Зависимость механических свойств сплава В124 от продолжительности старения

Образец	Температура старения в °С	Продолжительность старения в ч	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ в %	НВ
			в кгс/мм ²			
Залитые в кокиль	150	2	27,5	20,0	3,8	100
		5	30,5	25,5	3,4	115
		10	35,0	30,0	2,7	120
		24	37,0	33,0	2,4	135
Залитые в песчаные формы	150	2	23,5	18,5	1,8	85
		5	26,0	22,0	1,3	90
		10	30,5	24,5	0,9	100
		24	33,5	28,5	0,7	100
Залитые в кокиль	160	2	28,5	21,5	3,2	118
		5	36,0	28,5	2,6	126
		10	40,5	35,0	2,3	136
		24	43,5	36,5	2,1	153
Залитые в песчаные формы	160	2	25,0	19,0	1,7	85
		5	27,5	23,5	1,3	90
		10	30,5	25,5	0,8	105
		24	36,5	30,0	0,6	110
Залитые в кокиль	180	2	30,0	23,0	2,6	119
		5	36,5	29,5	2,3	141
		10	42,5	35,5	2,0	145
		24	40,0	24,0	2,2	140

На рис. 1.49, в представлен электронномикроскопический снимок оксидной реплики, характеризующей структуру твердого раствора образца из сплава В124, залитого в кокиль и состаренного при температуре старения 160° С в течение 10 ч. Эффект старения в этом случае примерно такой же, хотя ЗПП несколько крупнее, что соответствует механическим свойствам (см. табл. 1.97). При этом следует отметить, что ЗПП крупнее, а количество мельчайших зон меньше. Очевидно, более крупные выделения относятся к ЗПП2.

На рис. 1.50 приведены электронномикроскопические снимки оксидной реплики, характеризующей структуру твердого раствора образцов сплава В124 после старения при температуре 160° С в течение 24 ч, полученных способами литья в песчаные формы и кокиль. Эффект старения при температуре 160° С в течение 24 ч значительно больше, чем указывалось выше.

Из сравнения структуры образцов, отлитых в песчаные формы (рис. 1.50, а — II) и отлитых в кокиль (рис. 1.50, а — I), видно, что в последних случаях плотность ЗПП (более крупных выделений) выше, а также больше и количество скоплений ультрадисперсных частиц элементарного кремния. Более крупные выделения белого цвета, очевидно, относятся к ЗПП2. Наряду с этим в структуре твердого раствора имеется небольшое количество мелких частиц фазы θ . Поэтому и меха-

нические свойства образцов, подвергнутых старению при температуре 160°C в течение 24 ч, более высокие (см. табл. 1.97).

Старение при более высоких температурах (180°C) протекает с образованием частиц метастабильных фаз θ' и β' , а также более крупных частиц кремния (рис. 1.50, б). Наряду с этим структура твердого раствора также содержит частицы стабильных фаз CuAl_2 и силицида магния. При этом плотность ЗГП резко уменьшается, поэтому прочность

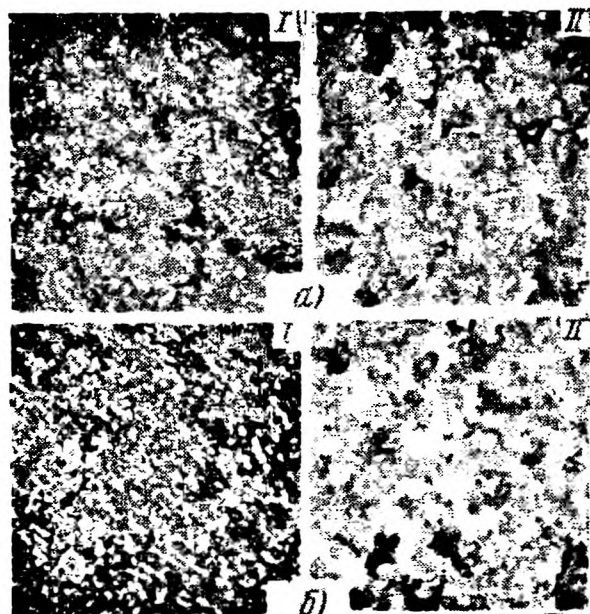


Рис. 1.50. Структура сплава В124 ($\times 20\,000$):
 а — закаленного и состаренного при 160°C в течение 24 ч; б — закаленного и состаренного при 180°C в течение 24 ч;

I — литье в кокиль; II — литье в песчаные формы

образцов значительно понижается, а пластичность несколько повышается (табл. 1.97). Такое состояние сплава относится к категории перестаривания.

Таким образом, оптимальным режимом старения сплава В124 следует считать нагрев до 160°C в течение 24 ч и охлаждение на воздухе.

Следовательно, путем применения соответствующих режимов термической обработки можно сильно изменять прочностные свойства сплавов.

Литейные и закалочные напряжения нередко являются не только причинами коробления отливок, но и причинами образования трещин в местах резких переходов от тонкого сечения к толстому или при малом радиусе закруглений.

Внутренние литейные или закалочные напряжения могут слагаться из напряжений:

1) возникающих в кристаллической решетке α -твердого раствора вследствие разности атомных радиусов алюминия и легирующих элементов и неравномерности расположения последних (напряжения третьего рода);

2) возникающих в зернах α -твердого раствора: образование мозаичного строения, плоскостей скольжения и т. д. (напряжения второго рода);

3) возникающих в части (макроскопического размера) образца или детали (напряжения первого рода).

Чем быстрее идет процесс кристаллизации или чем больше скорость закалки, тем в большей мере могут создаваться внутренние напряжения, которые также зависят и от природы сплавов.

Так, например, образование ультрамикроскопических трещин в отливках из сплавов типа твердых растворов очень часто происходит еще в процессе охлаждения отливок после их кристаллизации. При термической обработке эти трещины увеличиваются и потому легко выявляются.

Для определения остаточных напряжений наиболее широко применяют методы: 1) рентгенографический; 2) вырезки колец или удаления части тела детали; 3) травления.

Для выяснения степени склонности сплавов к остаточным напряжениям в процессе кристаллизации и их охлаждения широко применяют метод литья колец различного сечения с последующим прорезыванием щели шириной 2 мм (рис. 1.51). Изменение ширины щели характеризует величину деформации кольца вследствие возникновения внутренних напряжений.

1.98. Зависимость деформации колец различных сплавов от режимов термической обработки (средние данные по нескольким плавкам)

Состояние сплава	Деформация в мм					
	АЛ22	АЛ4	АЛ5	АЛ7	АЛ8	АЛ9
Литой	-0,145	-0,082	-0,093	-0,104	-0,166	-0,056
Отжиг:						
при 290° С, 3 ч	-0,075	-0,040	-0,050	-0,052	-0,095	-0,090
» 350° С, 3 ч	-0,066	-0,040	-0,050	-0,045	-0,020	-0,057
Закалка:						
без отпуска	-0,335	-0,286	-0,335	-0,440	-0,198	-0,170
с отпуском:						
150° С, 3 ч	-0,250	-0,387	-0,331	-0,292	-0,310	-0,340
200° С, 3 ч	-0,120	-0,151	-0,405	-0,354	-0,195	-0,370
250° С, 3 ч	-0,123	-0,106	-0,120	-0,147	-0,166	-0,090
300° С, 3 ч	-0,032	-0,018	-0,075	-0,040	-0,035	-0,070
150° С, 6 ч	-0,336	-0,162	-0,310	-0,188	-0,196	-0,124
200° С, 6 ч	-0,115	-0,136	-0,265	-0,097	-0,105	-0,075
250° С, 6 ч	-0,127	-0,082	-0,100	-0,067	-0,074	-0,075
300° С, 6 ч	-0,055	-0,032	-0,087	-0,040	-0,030	-0,032

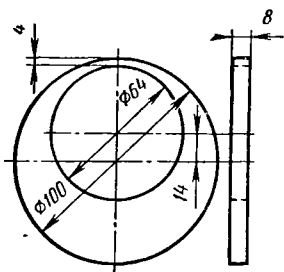


Рис. 1.51. Образец для определения внутренних напряжений

Данные исследований И. Ф. Колобнева и О. Б. Лотаревой влияния режимов термической обработки на деформацию литых колец показывают, что высокотемпературный отпуск является одним из основных способов снятия внутренних напряжений в отливках (табл. 1.98).

6. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ

Для термической обработки литых деталей из алюминиевых сплавов применяют в основном печи с электрообогревом и печи, обогреваемые продуктами горения газа или жидкого топлива, а также селитровые ванны. Печи следует оборудовать аппаратурой, автоматически регулирующей температуру, что обеспечивает плавный медленный (в течение 2—3 ч) подъем температуры до температуры закалки. Температуру печи необходимо контролировать через каждый метр по высоте печи и через каждые 2 м по длине.

Электropечи имеют вентиляционные устройства, с помощью которых осуществляется принудительная циркуляция горячего воздуха внутри рабочей камеры печи. Вентиляторы обычно устанавливают в нижней части или под сводом печи.

Характеристика электropечей приведена в табл. 1.99.

1.99. Основные характеристики электropечей для термической обработки алюминиевых сплавов

Тип	Марка	Потребная мощность в кВт	Максимальное напряжение в В	Температура нагрева в °С	Число фаз	Габаритные размеры в мм	Размеры рабочей камеры в мм
Камерная	ПН44-1	40	380	650	3	2800×1930× ×2400	4800×750× ×480
Камерная с толкателем	ПНТ5-3	100	200	550	3	6680×2800× ×3660	5700×900× ×400
	ПНТ5-4	58	220	250	3	6680×2800× ×3600	5700×900× ×400
	ПНТ8-1	200	220	650	3	11 600× ×3720×4000	10 000× ×1750×650
Шахтная с циркуляцией воздуха	ПН31-1	20	220	650	1	1180×1170× ×2000	Диаметр 400×500
	ПН32Д-2	36	220	650	3	1430×1230× ×2030	Диаметр 500
	ПН31-Б	24	220	650	1	2560	» 500
	ПН34Д-1	72	220	650	3	2760×1970× ×2900	Диаметр 950×1220
	ПН34Д-2	45	220	400	3	2760×1970× ×2900	Диаметр 950×1220
	ПА32-1	30	220	650	1	2700×2250× ×2450	Диаметр 500×500
	ПА32-3	20	220/380	650	1	1150×1850× ×1360	Диаметр 460×600
Конвейерная	ПК-2	75	200 и 135	450	3	6575×1880× ×2693	5318×690× ×952

Закалочные баки с охлаждающей жидкостью необходимо располагать не далее 1,5 м от нагревательной печи. Емкость закалочного бака должна быть достаточной для обеспечения равномерного охлаждения садки.

Каждый термический цех или отделение должны иметь контрольную аппаратуру для проверки силы тока и напряжения в сети, световую или другую сигнализацию с приборами, автоматически выключающими или включающими нагревательные устройства.

В селитровых ваннах фасонные детали прогреваются более равномерно и сравнительно быстро, поэтому они начинают находить широкое применение. Однако эти устройства имеют недостатки, которые необходимо учитывать при проведении в них термической обработки. К таким недостаткам прежде всего следует отнести возможность воспламенения солей, особенно при попадании органических веществ в селитру, что может быть причиной взрыва. Для селитровых ванн рекомендуются солевые смеси, приведенные в табл. 1.100.

1.100. Рекомендуемые составы селитровых ванн

Составляющие смеси	Содержание в %	Температура в °С		Назначение
		плавления	эксплуатации	
KNO_3	56	153	175—500	Отжиг
$NaNO_3$	44			
KNO_3	50	220	245—540	,
$NaNO_3$	50			
$NaNO_3$	65—35	153—230	260—540	Нагрев под закалку
KNO_3	35—65			
$NaNO_3$	100	317	330—600	—
KNO_3	100	337	350—600	—

Примечание. С целью увеличения стойкости селитровой ванны и улучшения поверхности детали в ванну вводят 2—3% хромпика ($K_2Cr_2O_7$) в виде смеси, состоящей из 5 частей селитры и 1 части сухого хромпика.

Нагревательные элементы следует располагать по внутренним стенкам или дну ванны. Жидкой селитры в ванне должно быть такое количество, которое обеспечивает понижение температуры при опускании в нее деталей не более чем на 5° С.

Селитровые ванны необходимо оборудовать стальными сетками или соответствующими корзинами для удобства загрузки и выгрузки деталей из ванны.

Контроль температуры в селитровых ваннах осуществляется так, чтобы спай контрольной термопары находился на глубине $\frac{2}{3}$ от зеркала ванны, а также на расстоянии не менее 50 мм от сетки или стенок ванны.

Исходные соли селитровых ванн не должны содержать ионов хлора более 0,5%, так как последние способствуют коррозии деталей из алюминиевых сплавов, прошедших нагрев в селитровой ванне.

Щелочность ванны в пересчете на K_2CO_3 не должна превышать 1%. Содержание в ванне хлористых соединений в пересчете на хлор-ион должно быть сведено к минимуму, но не более 0,5%.

Наиболее перспективными установками для термической обработки алюминиевых литых заготовок являются печи аэродинамического подогрева (ПАП). ПАП обладают более высокими технико-экономическими показателями и обеспечивают равномерный нагрев всего объема рабочей камеры; к. п. д. печей ПАП составляет 0,85—0,92.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтман М. Б. Неметаллические включения в алюминиевых сплавах. М., «Металлургия», 1965, 127 с.
2. Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье легких сплавов. М., «Металлургия», 1969, 680 с.
3. Альтман М. Б. и др. Рафинирование алюминиевых сплавов в вакууме. М., «Металлургия», 1970, 160 с.
4. Алюминиевые сплавы (справочное руководство). Плавка и литье алюминиевых сплавов. Под ред. В. И. Добаткина. М., «Металлургия», 1970, 416 с.
5. Алюминиевые сплавы (справочное руководство). Металловедение алюминия и его сплавов. Под ред. И. Н. Фридляндера. М., «Металлургия», 1971, 352 с.
6. Алюминиевые сплавы (справочное руководство). Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Под ред. Ф. И. Квасова и И. Н. Фридляндера. М., «Металлургия», 1972, с. 308—550.
7. Баландин Г. Ф. Формирование кристаллического строения отливок. М., Машгиз, 1965, 255 с.
8. Белоусов Н. Н. Плавка и разливка сплавов цветных металлов. Л., «Машиностроение», 1969, 108 с.
9. Белоусов Н. Н., Михеева Е. Н., Сарафанова М. Н. Термическая обработка новых литейных алюминиевых сплавов. ЛДНТП, 1964, 36 с.
10. Белоусов Н. Н., Михеева Е. Н., Сарафанова М. Н. Новые литейные алюминиевые сплавы. ЛДНТП, 1964, 36 с.
11. Берг П. П. Формовочные материалы. М., Машгиз, 1963, 480 с.
12. Бочвар А. А. Металловедение. М., Metallurgizdat, 1956, 495 с.
13. Вол А. Е. Строение и свойства двойных металлических систем. М., Физматгиз, 1959, т. 1, с. 181—539.
14. Герасимов В. В. Коррозия алюминия и его сплавов. М., «Металлургия», 1967, 114 с.
15. Денель А. К. Дефектоскопия металлов. М., «Металлургия», 1972, 303 с.
16. Колобнев И. Ф. Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов. М., Metallurgizdat, 1964, 224 с.
17. Колобнев И. Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов. М., «Металлургия», 1966, 394 с.
18. Колобнев И. Ф. и др. Высокопрочный герметичный сплав В-124. М., ГОСИНТИ, 1969, 29 с.
19. Корольков А. М. Литейные свойства металлов и сплавов. Изд-во АН СССР, 1960, 196 с.
20. Лебедев В. М., Мельников А. В., Николаенко В. В. Производство алюминиевых лигатур. М., Цветметинформация, 1967, 48 с.
21. Литейные алюминиевые сплавы. Сб. под ред. И. Н. Фридляндера. М., Оборонгиз, 1961, 203 с.
22. Ловчиков В. С. Оборудование для плавки и разливки алюминиевых сплавов и технология плавки. М., Профтехиздат, 1965.
23. Мальцев М. В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. М., «Металлургия», 1964, 214 с.
24. Механизм взаимодействия металлов с газами. Сб. под ред. В. И. Архарова и К. М. Горбунова. М., «Наука», 1964, 191 с.
25. Новиков И. И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. М., «Наука», 1966, 299 с.

26. Постников Н. С. Высокогерметичные алюминиевые сплавы. М., «Металлургия», 1972, 160 с.
27. Постников Н. С., Мельников А. В., Лебедев В. М. Плавка алюминиевых сплавов. М., «Металлургия», 1971, 151 с.
28. Фарбман С. А., Колобнев И. Ф. Индукционные печи для плавки металлов и сплавов. М., «Металлургия», 1968, 494 с.
29. Физико-химические свойства элементов. Сб. под ред. Г. В. Самсонова. Киев, «Наукова думка», 1965, 807 с.
30. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов (пер. с англ.). т. 1, М., Metallurgizdat, 1962, 170 с.
31. Храмов В. Д. Фасонное литье по принципу последовательно направленной кристаллизации. М., Оборонгиз, 1963. 72 с.
32. Цветное литье (Легкие сплавы). Под ред. И. Ф. Колобнева. М., «Машиностроение», 1966, 391 с.
33. Чалмерс Б. Физическое металловедение (пер. с англ.). М., Metallurgizdat, 1963, 455 с.
34. Эскин Г. И. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия. М., «Металлургия», 1965, 224 с.

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Глава I

СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

1. ВВЕДЕНИЕ

Магниевые сплавы находят широкое и все возрастающее применение в различных областях техники. Быстрому развитию производства металлического магния, разработке и усовершенствованию литейных магниевых сплавов и внедрению их в машиностроение способствуют следующие положительные факторы.

1. Плотность магниевых сплавов составляет примерно 23% плотности стали и чугуна или 65% плотности алюминиевых сплавов.

2. Механические свойства превышают свойства многих широко распространенных алюминиевых сплавов. Магниевые сплавы обладают высокой удельной прочностью, во многих случаях превосходящей на 50% удельную прочность алюминиевых сплавов, высокой способностью поглощения энергии ударных и вибрационных нагрузок и высоким пределом выносливости. Детали из магниевых сплавов отличаются большой жесткостью, что часто является особенно выгодным.

3. Магниевые сплавы обладают отличной обрабатываемостью резанием, значительно превышающей таковую алюминиевых и особенно медных сплавов и стали.

4. Высокие скорости резания, легкость операций шлифования и полирования, малый расход энергии определяют низкую стоимость механической обработки изделий из магниевых сплавов.

Широкому применению магниевых сплавов способствует значительное распространение магния в природе. Магния содержится (по массе) в земной коре 2,35% и морской воде 0,14%.

Производство магния и его сплавов — сравнительно молодая отрасль промышленности.

В начале 20-го века производство магния исчислялось несколькими десятками тонн. С появлением первых магниевых сплавов и особенно с 1941 г. производство магния резко возросло. К 1943 г. мировое производство магния (без СССР) достигло 240 тыс. тонн.

После войны производство магния резко сократилось. Новый подъем производства магния начался с 1958 г. (табл. 2.1).

Магний обладает низкими значениями пределов прочности и текучести и потому в чистом виде не применяется. Легирование магния различными добавками существенно повышает механические свойства. В табл. 2.2 приведены сравнительные характеристики некоторых магниевых и алюминиевых сплавов, стали и чугуна.

2.1. Потребление первичного и вторичного магния в капиталистических странах

Год	1900	1943	1958	1960	1962	1964	1970—1972
Потребление магния в тыс. т	Несколько тонн	243	77,5	89,5	109	132	197

2.2. Механические свойства некоторых литейных сплавов

Сплавы	Вид термической обработки	ρ в г/см ³	σ_B в кгс/мм ²	$\frac{\sigma_B}{\rho}$
Магниевые:				
Мл5	T4	1,80	23—26	12,8—14,4
Мл8	T6	1,80	27—30	15—16,6
ВМл6	T61	1,85	34—36	18,4—19,4
Алюминиевые:				
АЛ4	T6	2,65	23—26	8,6—10
ВАЛ5	T5	2,70	30—32	11,1—11,8
Сталь:				
45Л	Закалка и отпуск Отжиг	7,85	55—75	1—9,5
35ХГСЛ		7,80	80—95	10,2—12,3
Чугун высокопрочный		7,25	50—55	6,9—7,6

По удельной жесткости магниевые сплавы превосходят алюминиевые, титановые сплавы и стали (табл. 2.3).

2.3. Удельная жесткость магниевых сплавов по сравнению с другими сплавами

Сплавы	E в кгс/мм ²	$\frac{\sqrt{E}}{\gamma} \times 10^{-2}$	$\frac{\sqrt[3]{E}}{\gamma} \times 10^{-1}$
Магниевые	4 500	37,0	9,1
Алюминиевые	7 200	30,5	6,8
Титановые	11 500	23,5	5,0
Сталь	20 000	18,2	3,5

Многие физические и механические свойства магниевых сплавов изменяются незначительно по сравнению с магнием, так, например, коррозионные и упругие свойства (модуль нормальной упругости, модуль касательной упругости, коэффициент Пуассона) и некоторые дру-

Применение в различных областях техники. Магниевые сплавы как конструкционные материалы применяют в первую очередь в тех случаях, когда масса изделия имеет большое значение, например для изготовления переносных приборов, инструментов и т. д.

Малая плотность магниевых сплавов может быть использована для уменьшения инерционных сил у деталей, находящихся во вращательном или поступательно-возвратном движении. Магниевые сплавы успешно применяют для изготовления деталей, работающих в условиях ударных или вибрационных нагрузок, так как работа упругой деформации обратно пропорциональна модулю упругости, который у магниевых сплавов ниже, чем у алюминиевых или титановых сплавов.

2. СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАГНИЯ

Магний широко распространен в природе; вследствие высокой химической активности он находится в связанном виде. Основным промышленным сырьем являются следующие соединения магния: магнезит $MgCO_3$, доломит $MgCO_3 \cdot CaCO_3$, карналит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Магний двухвалентен, его атомный номер 12. Он кристаллизуется в виде гексагональной решетки, упаковка плотная. Физические свойства магния приведены в табл. 2.4—2.8.

2.4. Физические свойства магния

Свойства	Значение	Свойства	Значение
Атомная масса	24,32	Теплота сгорания в кал/г-атом	146,1
Атомный объем в см ³ /г-атом	13,99	Теплопроводность в кал/(см·с·°С) при температуре:	
Координационное число	6+6	0—100° С	0,376
Параметры решетки при 20° С в Å:		101—250° С	0,350
a	3,202	Температурный коэффициент электропроводности (от 0 до 100° С)	$3,86 \cdot 10^{-3}$
c	5,199	Усадка в %:	
c/a	1,623	при кристаллизации	3,97—4,2
Плотность в г/см ³ при температуре:		в твердом виде (от 650 до 20° С)	2
20° С	1,738	Поверхностное натяжение в дин/см при температуре:	
650° С	1,572	681° С	563
Температура в °С:		894° С	502
плавления	650		
кипения	1107		
Скрытая теплота в кал/г-атом:			
плавления	1 700		
парообразования	32 840		

Магний имеет следующие механические свойства: $E = 4500$ кгс/мм²; $G = 1800$ кгс/мм²; $\sigma_B = 8 \div 11$ кгс/мм²; $\sigma_T = 2,5$ кгс/мм²; $\delta = 6 \div 8\%$; $\psi = 9\%$; $\mu = 0,33$; $НВ 30$.

Химические свойства. Равновесный потенциал магния 2,34 В, необратимый потенциал в нейтральных электролитах 1,45—1,5 В. Корро-

2.5. Удельная теплоемкость магния

t в °C	c в кал/(г·°C)	t в °C	c в кал/(г·°C)
100	0,210	100	0,256
79		200	0,269
17	0,228	300	0,273
0	0,239	400	0,284
20	0,25	500	0,294

2.6. Коэффициент линейного расширения магния

t в °C	α в 1/°C	t в °C	α в 1/°C
0—100	$25,5 \cdot 10^{-6}$	100—200	$27,8 \cdot 11^{-6}$
0—200	$26,2 \cdot 10^{-6}$	200—300	$29,7 \cdot 10^{-6}$
0—300	$27,0 \cdot 10^{-6}$	300—400	$31,6 \cdot 10^{-6}$
0—400	$27,8 \cdot 10^{-6}$	400—500	$33,5 \cdot 10^{-6}$
0—500	$29,0 \cdot 10^{-6}$		

2.7. Удельное электросопротивление магния

t в °C	ρ в ом·мм ² /м	t в °C	ρ в ом·мм ² /м
—78	0,0305	400	0,1189
0	0,0431	700	0,288
20	0,047	750	0,286
100	0,0592	800	0,284
200	0,0757	850	0,282
300	0,0954	900	0,280

2.8. Электропроводность магния

t в °C	$\frac{1}{\rho} \cdot 10^4$ в 1/(ом·см)	t в °C	$\frac{1}{\rho} \cdot 10^4$ в 1/(ом·см)
—189	$78,4 \cdot 10^{-4}$	100	$16,9 \cdot 10^{-4}$
—100	$37,8 \cdot 10^{-4}$	400	$8,41 \cdot 10^{-4}$
0	$23,2 \cdot 10^{-4}$		

Этот показатель является основным определяющим фактором для коррозионной стойкости магния и магниевых сплавов в основном определяется природой чистого магния. На воздухе при температурах до 450°С образуется окисная пленка, обладающая слабыми защитными свойствами. Окисление протекает по параболическому закону. При температурах выше 450°С окисление идет энергично. Защитные свойства окисной пленки определяются отношением

$$\frac{V_{\text{MeO}}}{V_{\text{Me}}} = \frac{M \cdot d_{\text{Me}}}{d_{\text{MeO}} \cdot A}$$

где V — объем окисла или металла;
 M — молекулярная масса пленки;
 d_{MeO} — плотность окисной пленки;
 d_{Me} — плотность металла;
 A — атомная масса металла.

Если это отношение равно или больше 1, то пленка обладает защитными свойствами (табл. 2.9).

Как следует из данных табл. 2.9, окисная пленка на магнии не обладает защитными свойствами.

2.9. Относительная плотность окисных пленок некоторых металлов

Металл	Оксид	Отношение молекулярного объема окисла к атомному объему металла $\frac{V_{\text{MeO}}}{V_{\text{Me}}}$
Металлы, не образующие сплошных окисных пленок $\frac{V_{\text{MeO}}}{V_{\text{Me}}} < 1$		
Na	Na ₂ O	0,57
Ca	CaO	0,74
Mg	MgO	0,79
Металлы, образующие сплошные окисные пленки $\frac{V_{\text{MeO}}}{V_{\text{Me}}} > 1$		
Al	Al ₂ O ₃	1,24
Be	BeO	1,71
Fe	Fe ₂ O ₃	2,16

Примечание. V_{MeO} — молекулярный объем окисла; V_{Me} — атомный объем металла.

На коррозионную стойкость магния в различных средах оказывают большое влияние некоторые легирующие элементы и примеси.

Магний имеет высокое перенапряжение водорода. Металлы, обладающие низким перенапряжением водорода, как никель, железо, медь, особенно сильно снижают коррозионную стойкость магния (рис. 2.1). Наличие в сплаве до 1% цинка или магния уменьшает вредное действие никеля.

Ниже приводятся данные о свойствах двойных сплавов магния с медью, железом, никелем и кремнием — элементами, присутствующими в магниевых сплавах как примеси и снижающими коррозионную стойкость магния.

Система Mg—Cu. Диаграмма состояния системы разработана Г. Г. Уразовым. Ниже приведена растворимость меди в магнии по данным Н. Ю. Степанова и И. И. Корнилова:

t в °C	Растворимость в %
480	0,55
400	0,3
300	0,2

Медь понижает коррозионную стойкость магния и его сплавов, особенно значительно влияние меди при содержании ее более 0,1%.

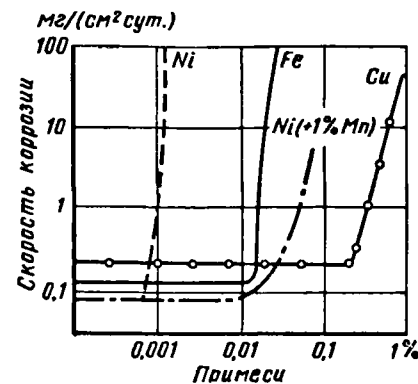


Рис. 2.1. Влияние Ni, Fe и Cu на коррозионную стойкость магния высокой чистоты

Система Mg—Fe. Железо с магнием образует эвтектику при содержании 0,006% Fe. Растворимость железа в твердом магнии очень мала (0,001%), в расплавленном магнии изменяется в зависимости от температуры (табл. 2.10).

2.10. Растворимость железа в расплавленном магнии в зависимости от температуры

t в °C	Растворимость железа в расплавленном магнии в %	t в °C	Растворимость железа в расплавленном магнии в %
650—655	0,025—0,026	800	0,10—0,12
660—675	0,026—0,027	850	0,16
670—675	0,028	900	0,186—0,201
680—690	0,033—0,034	950	0,22—0,24
700	0,035—0,040	1000	0,32
725	0,045	1100	0,56
750	0,051—0,060		

Примечание. Образцы нагревали в железных капсулах до указанной температуры, выдерживали в течение нескольких часов и закаливали в воде.

При погружении магния в 0,5%-ный водный раствор NaCl скорость коррозии возрастает в 5 раз при увеличении примеси железа с 0,003 до 0,026% (табл. 2.11) и в 10 раз при увеличении примеси железа до 0,04%, что соответствует техническому магнию.

2.11. Зависимость коррозии магния от содержания примеси железа

Содержание примеси ¹ железа в %	Выделение водорода ² за 120 ч в см ³ /см ²	Потеря массы ³ за 240 сут в г
0,0030	1,8	0,00120
0,0067	3,6	0,00126
0,0120	—	0,00174
0,0260	9,0	0,00248
0,0380	21,0	—
0,0450	—	0,00344

¹ Примеси никеля не превышали 0,005%, а меди—0,006% во всех случаях.

² В 0,5%-ном водном растворе NaCl.

³ В естественной атмосфере.

В атмосфере промышленного района наблюдается подобная закономерность, однако степень влияния железа значительно меньше.

Система Mg—Ni. При температуре 500° C растворимость никеля в магнии составляет менее 0,1%. Никель резко снижает коррозионную стойкость магния и его сплавов, например при содержании 0,0005% никеля коррозионная стойкость магния в морской воде заметно снижается.

Следует заметить, что в случае введения в магний до 1% цинка или марганца скорость коррозии выражается более пологой кривой, и практически она незначительна при содержании никеля до 0,005%. Вследствие вредного действия никеля на коррозионную стойкость допускаемое содержание примеси никеля строго регламентируется; в чушковом первичном магнии до 0,001—0,002%, а в сплавах до 0,001—0,005% (в сплавах Мл3, Мл4, Мл5, Мл6 до 0,01%).

Система Mg—Si. Система имеет эвтектику, содержащую 1,4% кремния и плавящуюся при 645° С. Свыше 0,3% кремния снижают коррозионную стойкость и удлинение сплавов.

Химический состав первичного чушкового магния повышенной и технической чистоты приведен в табл. 2.12.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Все литейные магниевые сплавы могут быть отнесены к нескольким группам в зависимости от их химического состава или назначения.

В табл. 2.13 приведена классификация, а в табл. 2.14 — химический состав литейных магниевых сплавов. Влияние легирующих компонентов и примесей на свойства магниевых сплавов описано в табл. 2.15.

Сплавы системы Mg—Mn

Марганец является легирующей добавкой, значительно повышающей коррозионную стойкость магния. Марганец повышает перенапряжение водорода на магнии, при этом образуется пленка, состоящая из гидратированной окиси марганца.

На рис. 2.2 приводится часть диаграммы состояния системы Mg—Mn. При 651° С марганец с магнием образует перитектику, содержащую 2,1% Mn.

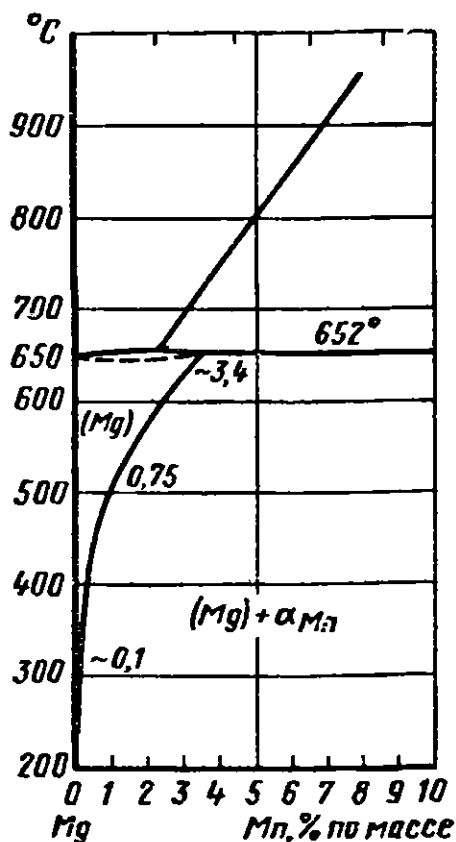


Рис. 2.2. Диаграмма состояния сплавов системы Mg—Mn

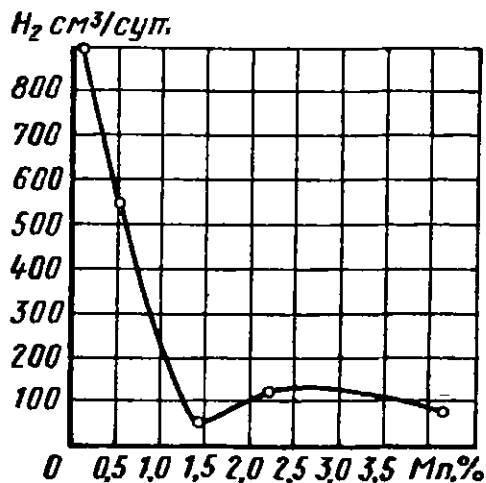


Рис. 2.3. Коррозионная стойкость сплавов системы Mg—Mn в зависимости от содержания марганца

2.12. Химический состав магния первичного в чушках в %

Марка	Mg, не менее (по разности)	Примесей, не более							Всего регламентированных примесей	ГОСТ
		Fe	Si	Ni	Cu	Al	Mn	Cl		
Mg 90	99,9	0,04	0,01	0,001	0,005	0,02	0,04	0,005	0,1	804—72
Mg п. ч.	Основа	0,005	0,005	0,002	0,002	0,006	0,005	0,003	0,03	5302—69

Примечания: 1. п. ч. — повышенной чистоты.
 2. Завод-изготовитель гарантирует в магнии марки Mg содержание примеси натрия не более 0,01% и калия не более 0,005%.

2.13. Классификация магниевых литейных сплавов

Группа	Система сплавов	Наиболее распространенные сплавы	Характеристика сплавов
I	Mg—Mn	Мл2	Литейные свойства низкие, обладают большой линейной усадкой, склонны к образованию горячих трещин, обладают повышенной коррозионной стойкостью
II	Mg—Al—Zn	Мл3, Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5о.н., Мл5п.ч., Мл6	Сплавы, содержащие до 6% Al, обладают удовлетворительными литейными свойствами, более 6% Al имеют хорошие литейные свойства. Сплавы повышенной чистоты имеют повышенную коррозионную стойкость
	Mg—Al—Zn—Ca	Мл7-1	Обладают удовлетворительными литейными свойствами, но склонны к образованию горячих трещин, имеют повышенную жаропрочность
III	Mg—Zn—Zr Mg—Zn—Zr—Cd Mg—Zn—Zr—La	Мл12 Мл8, ВМл6 Мл15	Обладают хорошими литейными свойствами, отличаются высокими и однородными механическими свойствами
IV	Mg—∑РЗМ—Zr Mg—Nd—Zr Mg—Nd—Zr—La	Мл11 Мл10 Мл9	Обладают хорошими литейными свойствами. Сплавы, легированные РЗМ, имеют пониженные механические свойства при комнатной температуре. Все сплавы данной группы отличаются повышенной жаропрочностью

Примечание. ∑ РЗМ — сумма редкоземельных металлов.

2.14. Химический состав магниевых литейных сплавов в %

Марка сплава	Основные компоненты (Mg — остальное)						Примесей, не более									
	Al	Mn	Zn	Zr	Nd	Прочие компоненты	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Be	Ca	Zr	Прочие примеси	Сумма определенных примесей
Мл2	—	1,0—2,0	—	—	—	—	0,1	0,1	0,08	0,01	0,1	0,002	0,1	—	0,05 Zn	0,5
Мл3	2,5—3,5	0,15—0,5	0,5—1,5	—	—	—	—	0,25	0,08	0,01	0,1	0,002	0,1	0,002	—	0,5
Мл4	5,0—7,0	0,15—0,5	2,0—3,0	—	—	—	—	0,25	0,06	0,01	0,1	0,002	0,1	0,002	—	0,5
Мл4п.ч.	5,0—7,0	0,15—0,5	2,0—3,0	—	—	—	—	0,08	0,007	0,002	0,04	0,002	—	0,002	—	0,14
Мл5	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	—	—	0,25	0,06	0,01	0,1	0,002	0,1	0,002	—	0,5
Мл5п.ч.	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	—	—	0,08	0,007	0,001	0,04	0,002	—	0,002	—	0,14
Мл5о.н.	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	—	—	0,35	0,08	0,01	0,25	0,002	0,1	0,002	—	0,7
Мл6	9,0—10,2	0,1—0,5	0,6—1,2	—	—	—	—	0,25	0,07	0,01	0,1	0,002	0,1	0,002	—	0,5
Мл7-1	5,0—6,5	0,3—0,7	0,3—0,6	—	—	0,2—0,5 Ca	—	0,25	0,1	—	0,1	—	—	—	—	0,45
Мл8	—	—	5,5—6,6	0,7—1,1	—	0,2—0,8 Cd	0,02	0,03	0,01	0,005	0,03	0,001	—	—	0,12	0,2
Мл9	—	—	—	0,4—1,0	1,9—2,6	0,2—0,8 In	0,02	0,03	0,01	0,005	0,03	0,001	—	—	—	0,35
Мл10	—	—	0,1—0,7	0,4—1,0	2,2—2,8	—	0,02	0,03	0,01	0,005	0,03	0,001	—	—	0,12	0,2
Мл11	—	—	0,2—0,7	0,4—1,0	—	2,5—4,0 РЗМ	0,02	0,03	0,03	0,005	0,03	0,001	—	—	0,15	0,25
Мл12	—	—	4,0—5,0	0,6—1,1	—	—	0,02	0,03	0,01	0,005	0,03	0,001	—	—	0,12	0,2
Мл15	—	—	4,0—5,0	0,7—1,1	—	0,6—1,2 La	0,02	0,03	0,01	0,005	0,03	—	—	—	0,12	0,2

Примечания: 1. Под суммой РЗМ подразумеваются элементы, входящие в состав цериевого мшметалла, содержащего не менее 45% церия.

2. При одновременном содержании бериллия и циркония в сплавах марок Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5п.ч. допустимая величина примеси бериллия в каждом сплаве не должна превышать 0,0015%.

182
Состава, структура и свойства магниевых сплавов

Классификация магниевых сплавов

2.15. Влияние легирующих элементов и примесей на свойства магниевых сплавов

Элемент	ρ в г/см ³	$t_{\text{плавления}}$ в °C	Типичные химические соединения	Влияние на свойства сплавов
Al	2,7	660	Mg ₂ Al ₃ Mg ₂ Al ₂	Основная легирующая добавка, повышает механические свойства сплавов системы Mg—Al—Zn. В сплавах с цирконием является вредной примесью и понижает механические свойства
Be	1,66	1278	—	Понижает окисляемость сплавов. При содержании более 0,002% укрупняет структуру, снижает механические свойства, повышает склонность магниевых отливок к образованию горячих трещин
B	2,34	2300	—	Измельчает структуру сплавов
Fe	7,8	1530	—	Снижает коррозионную стойкость сплавов
Cd	8,6	321	Mg ₃ Cd	Повышает механические свойства сплавов системы Mg—Zn—Zr
K	0,86	64	—	Повышает окисляемость и снижает коррозионную стойкость магниевых сплавов
Ca	1,55	849	—	Понижает окисляемость сплавов, повышает жаропрочность сплавов системы Mg—Al—Zn. Снижает пластичность и прочность при комнатной температуре
Si	2,37	1414	Mg ₂ Si	Снижает коррозионную стойкость, а также механические свойства сплавов с цирконием
La	6,2	920	Mg ₉ La (Mg ₁₂ La)	Повышает жаропрочность сплавов системы Mg—Zn—Zr
Li	0,53	170	—	Повышает окисляемость, снижает плотность сплавов
Mn	7,4	1260	—	Повышает коррозионную стойкость
Cu	8,9	1083	Mg ₂ Cu	Снижает коррозионную стойкость при содержании свыше 0,1%
Na	0,97	98	—	Повышает окисляемость, снижает коррозионную стойкость
Nd	7,0	840	Mg ₁₂ Nd (Mg ₉ Nd)	Повышает жаропрочность сплавов с цирконием
Ni	6,9	1452	Mg ₂ Ni	Снижает коррозионную стойкость
Ag	10,5	960	Mg ₃ Ag	Повышает механические свойства сплавов
Ti	4,50	1725	—	Измельчает структуру сплавов
Th	11,5	1842	Mg ₅ Th	Повышает жаропрочность сплавов
Cl	1,56 (жидкий)	—34 (кипения)	—	Резко снижает коррозионную стойкость сплавов
Ce	6,8	630	Mg ₁₂ Ce (Mg ₉ Ce)	Повышает жаропрочность сплавов
Zn	7,13	419	MgZn ₂ MgZn	Повышает механические свойства. Основная легирующая добавка сплавов системы Mg—Zn—Zr
Zr	6,25	1927	—	Измельчает структуру и повышает механические свойства сплавов системы Mg—Zn и Mg—Nd. Способствует осаждению железа и кремния из расплава

Марганец растворим при соответствующих температурах в твердом и жидком магнии (табл. 2.16). Растворимость марганца в магнии при 200° С практически равна нулю.

2.16. Зависимость от температуры растворимости марганца в магнии в %

t в °С	Магний		t в °С	Магний	
	расплавленный	твердый		расплавленный	твердый
850	6,6	—	651	2,1	2,45
765	3,9	—	620	—	2,06
700	2,6	—	540	—	1,00
670	2,3	—	455	—	0,25

Растворимость железа и магния уменьшается при введении марганца, который образует с железом нерастворимые в магнии соединения. Эти соединения ликвируют на дно печи при отстаивании расплава.

На рис. 2.3 приводятся данные о коррозионной стойкости сплавов системы Mg—Mn в зависимости от содержания марганца при испытании их в морской воде. Наибольшая коррозионная стойкость отмечается у сплавов, содержащих около 1,5% Mn.

Сплав Мл2 получил некоторое промышленное значение.

Фазовый состав сплава — α -твердый раствор марганца в магнии с включением элементарного марганца.

Сплав Мл2 термической обработкой не упрочняется, поэтому механические свойства его низкие. Однако при повышенных температурах сплав мало разупрочняется (табл. 2.17).

Сплав Мл2 обладает пониженными технологическими свойствами: высокой линейной усадкой (1,6—1,9%) и высокой горячеломкостью. Сплав пригоден для получения отливок несложной конфигурации в песчаных формах.

Достоинством сплава является высокая коррозионная стойкость.

Сплавы системы Mg—Al—Zn

В сплавах этой системы основным упрочнителем является алюминий. Цинк улучшает технологические свойства и в меньшей степени, чем алюминий, способствует повышению механических свойств. Добавка марганца улучшает коррозионные свойства. В сплав Мл7-1 для повышения жаропрочности введен кальций. Для снижения окисляемости в сплавы вводят бериллий.

2.17. Механические свойства сплава Мл2 при повышенных температурах

$t_{\text{исп}}$ в °С	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}/100$	δ в %
	в кгс/мм ²			
20	10	3,5	—	4
100	9,5	3	1,8	10
150	8	3	1,6	11
200	7	2,5	1,3	12,5

Система Mg—Al. Согласно диаграмме состояния Н. С. Курнакова и В. И. Михеевой (рис. 2.4) в системе имеются четыре металлических соединения: Mg_2Al_3 ; $MgAl$; Mg_4Al_3 ; Mg_3Al_2 . Лавес приписывает соеди-

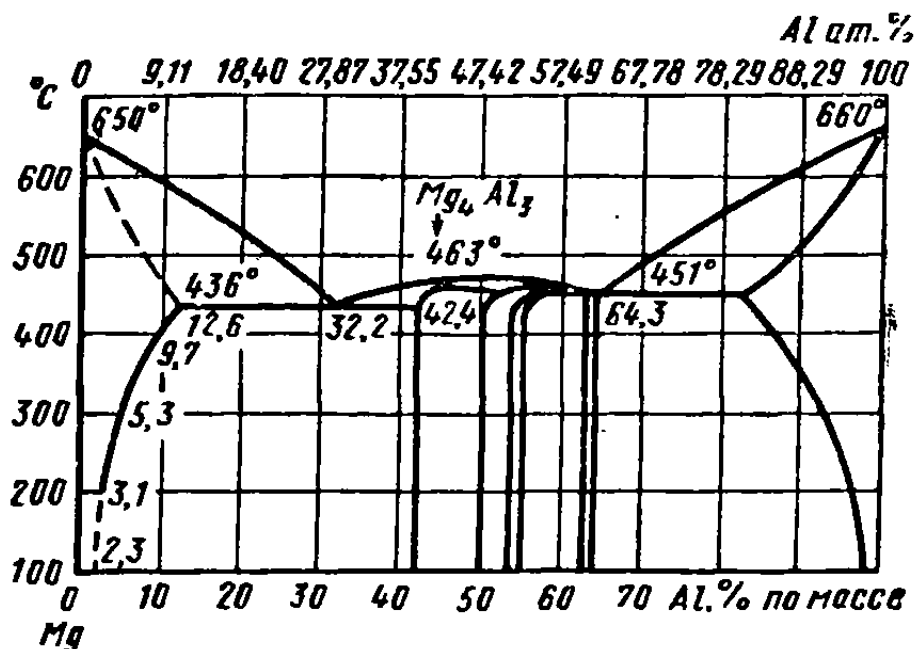


Рис. 2.4. Диаграмма состояния сплавов системы Mg—Al

нению на основе γ -фазы формулу $Mg_{17}Al_{12}$, Каваками — соединению Mg_2Al_3 — формулу Mg_3Al_8 . По данным В. И. Михеевой [13], растворимость алюминия в магнии при температуре плавления эвтектики достигает 12,1% (рис. 2.5). По М. И. Замоторину и П. Я. Сальдау, предельная растворимость алюминия в магнии 12,6%.

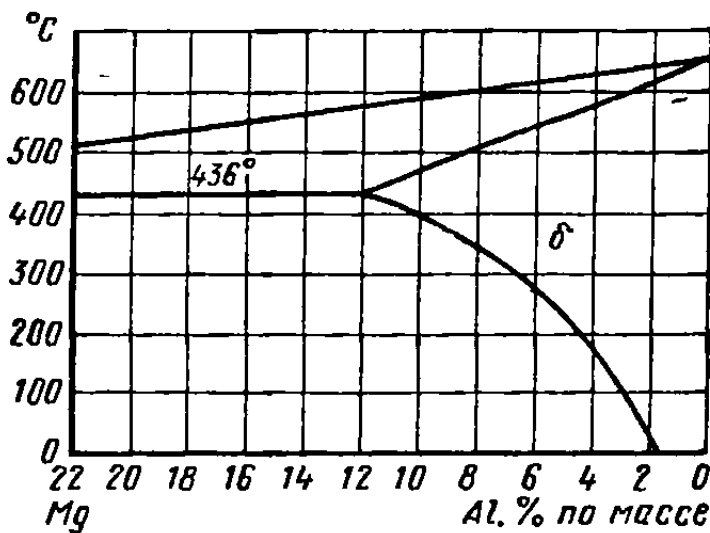


Рис. 2.5. Кривая растворимости алюминия в твердом магнии

дельная растворимость алюминия в магнии 12,6%.

В области, богатой магнием, имеется эвтектика, образованная соединением Mg_4Al_3 и твердым раствором алюминия в магнии, содержащая 32,2% Al и плавящаяся при температуре 436° С.

По диаграмме состояния сплавы системы Mg—Al способны давать значительный эффект закалки при содержании выше 7% Al. В литом состоянии наиболее высокие механические свойства имеют сплавы, содержащие 6% Al. С повышением содержания алюминия в двойных спла-

вах системы Mg—Al технологические свойства изменяются следующим образом: склонность к образованию горячих трещин уменьшается, достигая 20—25 мм (по ширине кольца при испытании по методу дисковой пробы) в сплаве с 12% Al. Жидкотекучесть сначала несколько уменьшается вследствие увеличения интервала кристаллизации, а затем при дальнейшем увеличении содержания алюминия повышается в соответствии с ростом количества эвтектики.

На плотность и механические свойства влияют содержащиеся в магниевых сплавах газы (преимущественно водород), поглощение которых увеличивается с повышением температуры. 100 г магния поглощают водорода при комнатной температуре $\sim 20 \text{ см}^3$, при 650°C $\sim 26 \text{ см}^3$, а при 900°C около 30 см^3 .

В сплавах системы Mg—Al растворимость водорода в твердом состоянии уменьшается с повышением содержания алюминия в сплаве (табл. 2.18). Присутствие водорода в магниевых сплавах способствует образованию или усилению микрорыхлоты.

2.18. Растворимость водорода в сплавах системы Mg—Al в твердом состоянии в зависимости от содержания алюминия

Сплав	Содержание H_2 в 100 г сплава в см^3 при содержании Al в ат %						
	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10—12	12—14
Литой	22	—	17	13	—	9	7
Закаленный	25	25	21	21	21	21	19

Система Mg—Al—Zn. На рис. 2.6 приведена диаграмма состояния сплавов системы Mg—Al—Zn (данные В. И. Михеевой). В системе имеется тройное соединение $\text{Mg}_4\text{Al}_3\text{Zn}_3$ (фаза T), диссоциирующее при температурах выше 535°C . По П. Я. Сальдау, состав фазы T соответствует соединению $\text{Al}_3\text{Mg}_7\text{Zn}_6$. Фаза T образует двойные области со всеми фазами, участвующими в равновесии в данной системе. Двухфазные поля разделены треугольниками совместного существования соответствующих трех фаз.

На рис. 2.7 показана граница твердого раствора магния по вертикальному разрезу системы Mg — 91% Al — 9% Zn (отношение содержания алюминия к цинку 10 : 1). Подобное соотношение алюминия и цинка имеет наиболее распространенный сплав Мл5. Сплавы системы Mg—Al—Zn могут упрочняться после термической обработки — закалки и старения. Практически наибольший эффект от закалки дают сплавы, содержащие в сумме 7% и более алюминия и цинка. В сплавы системы Mg—Al—Zn допускается введение бериллия для снижения окисляемости.

По данным В. И. Михеевой, система Mg—Al—Be имеет тройную эвтектику при содержании 0,5—0,6% Be и 33% Mg. Определенных данных о том, в какой форме бериллий присутствует в сплавах магния с алюминием, пока нет. По В. В. Крымову, в чистый магний может быть введено до 0,006% Be, в сплав с 10% Al — до 0,07% Be.

Положительное действие бериллия на снижение окисляемости магния и его сплавов отмечается уже при содержании 0,0003—0,0005% Be.

Большое количество бериллия способствует укрупнению зерен твердого раствора, что снижает механические свойства сплавов (табл. 2.19). Поэтому в промышленных сплавах содержание бериллия ограничивается для сплавов: системы Mg—Al—Zn — до 0,002% при

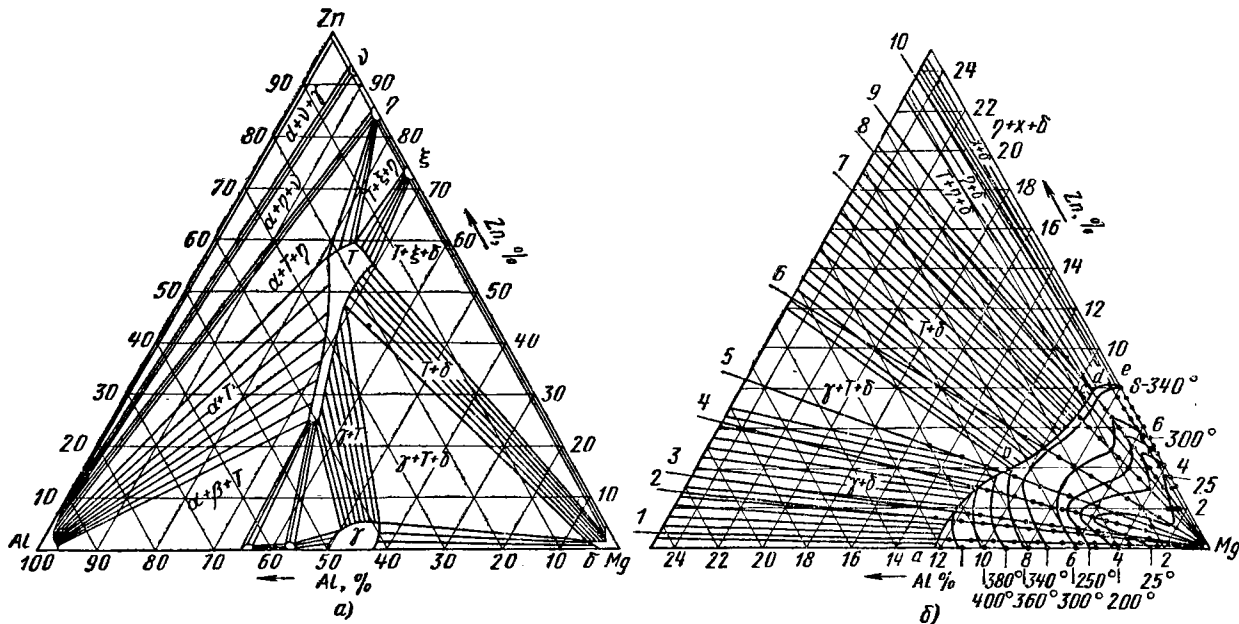


Рис. 2.6. Изотерма:

а — распределения фаз системы Mg—Al—Zn при 20° С; б — совместной растворимости алюминия и цинка в магнии

литье в песчаные формы и кокиль и до 0,01% при литье под давлением; для легированных цирконием — до 0,001%.

Фазовый состав сплавов системы Mg—Al—Zn. В литом состоянии структура сплавов состоит из δ -твердого раствора алюминия и цинка в магнии с включением по границам зерен металлического соединения Mg_4Al_3 . По мере увеличения содержания алюминия в сплавах этой системы увеличивается количество фазы Mg_4Al_3 . Наибольшее количество второй фазы обнаруживается в структуре сплава Млб. Марганец присутствует по границам зерен в виде мелких частиц голубоватого цвета.

Величина зерна сплавов данной системы может изменяться в широких пределах в зависимости от степени модифицирования и скорости охлаждения отливки.

На рис. 2.8 приведена микроструктура наиболее типичного сплава данной группы Мл5 в литом и термически обработанном состояниях по режимам Т4 и Т6.

Система Mg—Al—Zn—Ca. Введение кальция в сплав Мл7-1 позволяет повысить жаропрочные свойства сплава. Кальций снижает окисляемость сплавов системы Mg—Al—Zn в расплавленном состоянии, однако при содержании его в сплавах выше 0,2% повышается их хрупкость.

Система Mg—Ca имеет соединение Mg_2Ca , плавящееся при 714° С. Соединение Mg_2Ca образует при 516° С эвтектику, содержащую 16,3% Ca. Растворимость кальция в магнии при 516° С 0,78%, при 300° С 0,18%.

В системе Al—Ca кальций с алюминием образует соединение Al_2Ca с температурой плавления 1079° С, которое при 700° С по перитектической реакции переходит в соединение Al_4Ca , содержащее 27,8% Ca.

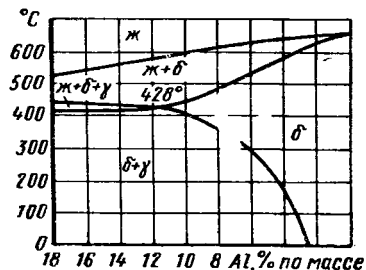


Рис. 2.7. Граница магниевого твердого раствора по разрезу диаграммы Mg—91%, Al—9% Zn

2.19. Влияние бериллия на механические свойства и величину зерна сплава Мл5 при литье в песчаные формы (по данным В. В. Крымова)

Be в %	Сплав				Средняя величина зерна в мм
	литой		закаленный (Т4)		
	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	σ_B в кгс/мм ²	δ в %	
0	17,2	2,3	23,7	7,0	0,20
0,001	17,5	3,1	25,2	9,1	—
0,002	17,0	3,0	23,4	7,8	0,23
0,004	17,4	3,1	22,4	9,4	—
0,005	17,6	2,9	21,7	7,5	0,26
0,01	16,3	1,8	20,0	6,8	0,30
0,02	14,6	1,2	19,3	6,0	0,41
0,05	15,3	1,6	17,8	4,1	0,81

Это соединение с твердым раствором магния при 7,6% Са образует эвтектику, плавящуюся при 616° С.

Фазовый состав сплава Мл7-1: твердый раствор алюминия и цинка в магнии, соединение Mg_4Al_3 и Al_2Ca и частицы элементарного марганца.

Основные свойства сплавов систем Mg—Al—Zn и Mg—Al—Zn—Ca. Механические свойства сплавов в отливках в значительной степени зависят от плотности и толщины сечения отливок, а также от состава

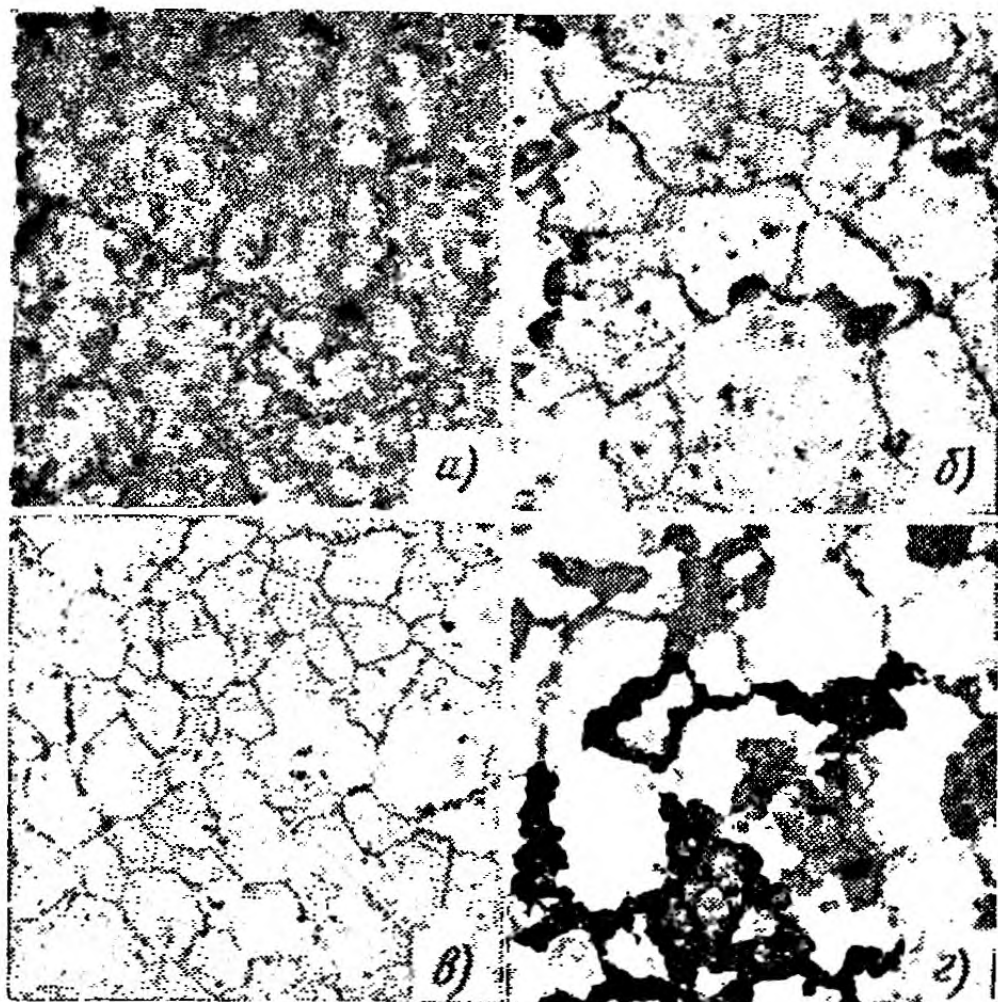


Рис. 2.8. Микроструктуры сплава Мл5 в различном состоянии (X100):

a — литом (сплав модифицирован, травитель — 1%-ный раствор азотной кислоты в дистиллированной воде); *б* — закаленном (сплав не модифицирован, травитель — этиленгликолевый [этиленгликоля 60 мл, уксусной кислоты 20 мл, азотной кислоты 1 мл, воды дистиллированной 19 мл]); *в* — закалением (сплав модифицирован, травитель — этиленгликолевый); *г* — закалением и состаренном (травитель — этиленгликолевый)

сплава. Например, сплав Мл3 с меньшим температурным интервалом кристаллизации менее склонен к понижению прочности в зависимости от толщины отливок, чем сплавы Мл4 или Мл5.

С п л а в Мл3 относится к сплавам средней прочности с повышенной герметичностью, обладает малой склонностью к образованию микрорыхлоты. Термической обработкой не упрочняется.

С п л а в Мл4 относится к группе высокопрочных сплавов, имеет широкий интервал кристаллизации (210°) и склонен к образованию микрорыхлоты, упрочняется термической обработкой, обладает высокими механическими свойствами в литом и термически обработанном состояниях. Коррозионная стойкость выше, чем у сплава Мл5.

С п л а в Мл4п.ч. отличается повышенной коррозионной стойкостью по сравнению со сплавом Мл4, что обеспечивается меньшим содержанием вредных примесей в сплаве (Ni, Fe, Cu, Si) и применением специальной методики плавки.

С п л а в Мл5 относится к группе высокопрочных сплавов. По литейным свойствам превосходит сплав Мл4, имеет незначительную линейную усадку (1—1,2%), хорошую жидкотекучесть и малую склонность к образованию горячих трещин, упрочняется термической обработкой, хорошо сваривается, обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Благодаря совокупности хороших литейных и технологических свойств широко применяется в промышленности.

С п л а в Мл5п.ч. отличается повышенной коррозионной стойкостью по сравнению со сплавом Мл5, что обеспечивается меньшим содержанием вредных примесей в сплаве и применением специальных флюсов при плавке.

По коррозионной стойкости сплав Мл5п.ч. значительно превосходит сплав Мл5 (по выделению водорода в 10—12 раз).

С п л а в Мл5о.н. относится к группе высокопрочных сплавов, отличается от сплава Мл5 повышенным содержанием допустимых примесей, изготавливается из вторичных отходов и металлов. По коррозионной стойкости несколько уступает сплаву Мл5.

С п л а в Мл6 относится к группе высокопрочных сплавов, обладает наилучшими литейными свойствами среди сплавов своей группы, менее склонен к образованию горячих трещин, упрочняется термической обработкой, обладает более высокими упругими свойствами ($\sigma_{0,2}$, $\sigma_{цц}$), но менее пластичен, чем сплав Мл5.

С л а в Мл7-1 относится к группе сплавов средней прочности, обладает повышенной жаропрочностью по сравнению со свойствами сплавов системы Mg—Al—Zn. Литейные свойства сплава Мл7-1 удовлетвори-

2.20. Влияние микрорыхлоты на механические свойства сплавов системы Mg—Al—Zn (отдельно отлитые образцы)

Сплав	Микрорыхлота	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ в %
		в кгс/мм ²		
Мл4	Отсутствует	27	10	12
	Слабая	26	9,5	6,5
	Средняя	18,5	8	2
	Сильная	14,5	8	2
Мл5	Отсутствует	27	9	10
	Слабая	23	8,5	5
	Средняя	18	8	3,5
	Сильная	13,5	7,2	2
Мл6	Отсутствует	27,5	11	10
	Слабая	20,5	10	3,5
	Средняя	17,5	10	2
	Сильная	13	9,5	1,5

П р и м е ч а н и е. Сплавы термически обработаны по режиму Т4.

2.21. Влияние микрорыхлоты на механические свойства образцов, вырезанных из отливок сплава

Толщина стенок в мм	Микрорыхлота							
	Отсутствует		Слабая		Средняя		Сильная	
	$\sigma_{0,2}$ в кгс/мм ²	δ в %	$\sigma_{0,2}$ в кгс/мм ²	δ в %	$\sigma_{0,2}$ в кгс/мм ²	δ в %	$\sigma_{0,2}$ в кгс/мм ²	δ в %
4—10	21,5	7,5	18,5	5,5	18	4	16,5	2
10—20	20	6,6	17,5	5	16	3,8	14,5	3,1
20—30	19	5,2	16,5	3,5	16	3,2	12,6	2,2
Св. 30	15	3,5	12,5	1,7	11,5	2	10,5	1,7

тельные, однако вследствие присутствия в нем кальция проявляет склонность к образованию горячих трещин в отливках, термической обработкой не упрочняется.

В табл. 2.20 и 2.21 приведены данные о влиянии микрорыхлоты на механические свойства сплавов системы Mg—Al—Zn.

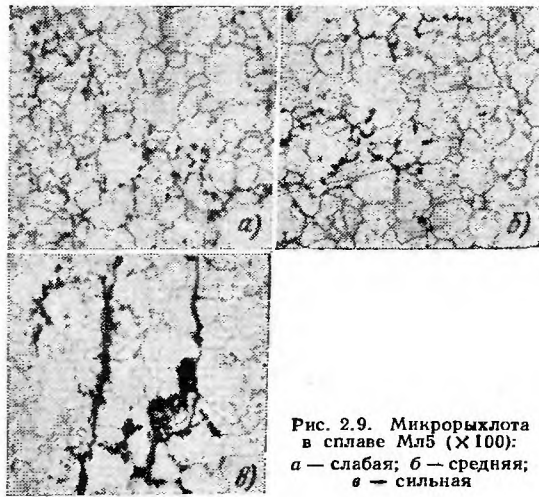


Рис. 2.9. Микрорыхлота в сплаве Мл5 (X100): а — слабая; б — средняя; в — сильная

Для сплава Мл5 разработана шкала микрорыхлоты, определяющая зависимость механических свойств образцов, вырезанных из отливок, от степени микрорыхлоты.

На рис. 2.9 показана микроструктура сплава Мл5 с микрорыхлотой слабой, средней и сильной степени.

2.22. Механические свойства образцов, вырезанных из отливок сплавов системы Mg—Al—Zn

Марка сплава	Способ литья ¹	Характеристика мест вырезки образцов	Толщина в мм		Режим термической обработки	$\sigma_{0,2}$ в кгс/мм ²		δ в %						
			стенки	массива ²		средний	минимальный ³	среднее	минимальное ³					
										Т2	Т4	Т6	Т2	Т4
Мл4 и Мл4п.ч.	З, О	Нагруженные	Не регламентируется		—	12,0	8,5	1,5	0,5					
		Прочие	То же		Т4	14,0	10,0	2,0	0,5					
В, Г	Любое место	Любое место	То же		Т4	11,0	8,0	1,0	0,5					
			Т6	16,0	12,0	2,5	1,5	1,5	0,5					
Мл5 и Мл5п.ч.	З, О	Нагруженные	Не более 20	Не более 40	—	12,0	8,5	1,0	0,5					
		Т2	12,0	8,5	1,0	0,5	Т4	17,5	13,0	2,5	1,5			
	Т6	17,5	13,0	1,0	0,5	Нагруженные	Более 20	Более 40	—	11,0	8,0	1,0	0,5	
	Т2	11,0	8,0	1,0	0,5	Т4	16,0	12,0	2,5	1,5	Т6	16,0	12,0	1,0
К	То же	То же	Не регламентируется		—	12,0	8,5	1,0	0,5					
			Т2	12,0	8,5	1,0	0,5	Т4	17,5	13,0	2,5	1,5	Т6	17,5
З, О, К	Прочие	То же	То же		—	10,0	8,0	1,0	0,5					
			Т2	10,0	8,0	1,0	0,5	Т4	14,0	10,0	2,0	0,5	Т6	14,0
В, Г	Любое место	Любое место	То же		—	11,0	8,0	1,0	0,5					
			Т2	11,0	8,0	1,0	0,5	Т4	16,0	12,0	2,5	1,5	Т6	16,0
Д	То же	То же	То же		—	15,0	8,5	1,0	0,5					
			Т2	15,0	8,5	1,0	0,5							
Мл7-1	З, О, Г	То же	То же		Т2	12,0	10,0	3,0	2,5					

¹ Обозначения способов литья: З — в песчаные формы; О — в оболочковые формы; К — в кокиль; В — по выплавляемым моделям; Г — в гипсовые формы; Д — под давлением.

² Бобышки, приливы, перемычки.

³ Минимальные значения, допускаемые на одном из трех испытуемых образцов.

Сплавы системы Mg—Al—Zn с широким температурным интервалом кристаллизации обладают повышенной склонностью к образованию микрорыхлоты (табл. 2.20).

Значения механических свойств наиболее распространенных сплавов системы Mg—Al—Zn, определенные на образцах, вырезанных из отливок, приведены в табл. 2.22.

Обычно средние значения механических свойств образцов, вырезанных из отливок сплавов системы Mg—Al—Zn, полученных по стандартной методике литья, оговариваются в пределах $\sigma_b = 70 \div 75\%$, а $\delta \approx 50\%$ от значений свойств отдельно отлитых образцов.

2.23. Механические свойства образцов, вырезанных из отливок сплавов Мл5 и Мл5п.ч. в % (значения ¹ свойств отдельно отлитых образцов приняты за 100%)

Свойства	Отливки	
	обычные	повышенной прочности
σ_b сред	70—75	75—100
σ_b мин	50—60	70—85
δ сред	50	80—100
δ мин	30	40—60

¹ Минимальные значения на одном образце из трех.

Для отливок повышенной прочности устанавливают три класса повышенной прочности. К этим отливкам относятся отливки, имеющие повышенные свойства не менее чем в двух зонах. При наличии всего одной или двух зон отливка должна иметь хотя бы одну зону повышенной прочности. Класс отливки устанавливают по наивысшим прочностным требованиям.

Механические свойства отливок повышенной прочности из сплава Мл5 приведены в табл. 2.24.

2.24. Механические свойства образцов, вырезанных из отливок повышенной прочности сплавов Мл5 и Мл5п.ч. (термическая обработка по режиму Т4)

Класс прочности	σ_b в кгс/мм ²		δ в %	
	средний	минимальный ¹	среднее	минимальное ¹
1	24	20	6	3
2	22	18	5	2,5
3	20	16	4	2
4				

В соответствии с табл. 2.22.

¹ Минимальные значения на одном образце из трех.

Сплавы на основе системы Mg—Zn—Zr

Основой сплавов данной группы являются системы Mg—Zn и Mg—Zr. Система Mg—Zn изучалась многими исследователями. Несогласованность в полученных данных относится к средней части диаграммы, которая и по настоящее время не может считаться окончательно установленной.

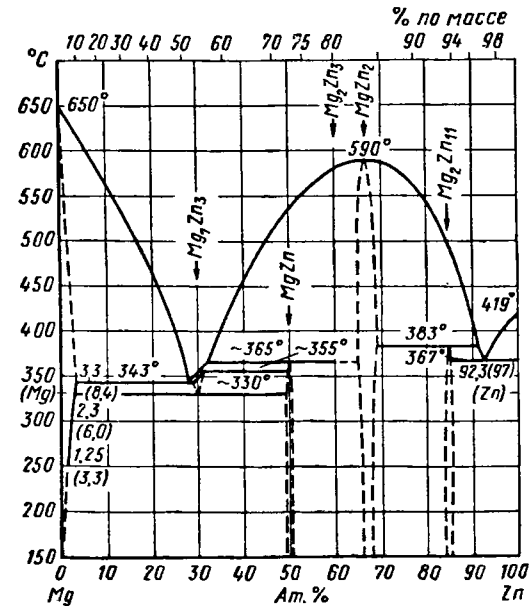


Рис. 2.10. Диаграмма состояния сплавов системы Mg—Zn

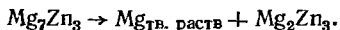
На рис. 2.10 приведена общепринятая диаграмма состояния системы по данным Юм-Розери и др.

Растворимость цинка в твердом магнии изменяется с изменением температуры:

t в °C	Плавления эвтектики (341)	300	200	20
Растворимость в %	8,5	5,5	2,5	1,5

Система Mg—Zn имеет несколько соединений: MgZn₃ образуется при 590° С и по перитектической реакции при 419° С переходит в соединение Mg₂Zn₃. Это соединение далее при 350° С по перитектической реакции переходит в соединение MgZn.

Такей, а затем Г. Г. Уразов с сотрудниками установили область существования фазы Mg_7Zn_3 , которую обозначают через x или η . По их данным, фаза Mg_7Zn_3 распадается при $330^\circ C$. По Такей, реакция идет в направлении



По Г. Г. Уразову, имеет место реакция



Г. В. Рейнор полагает, что средняя часть диаграммы состояния должна быть такой, как показана на рис. 2.11. Из этой диаграммы следует, что фаза $MgZn$ распадается при температуре более низкой, чем фаза Mg_7Zn_3 .

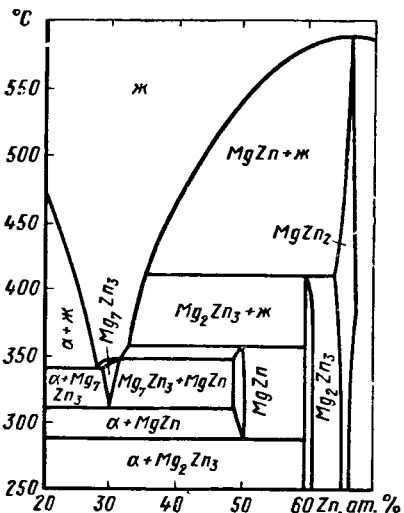


Рис. 2.11. Средняя часть диаграммы состояния системы Mg—Zn

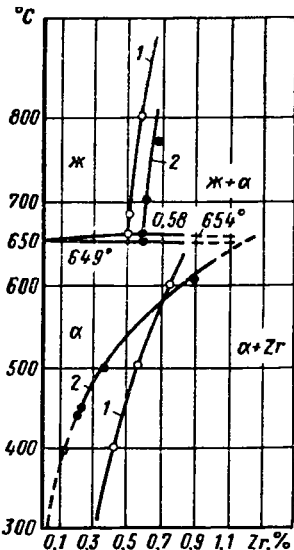


Рис. 2.12. Часть диаграммы состояния системы Mg—Zr: 1 — по Меллору; 2 — по Шауму и Бернетту

Сплавы системы Mg—Zn обладают хорошими механическими свойствами, но благодаря широкому интервалу кристаллизации, имеют низкие технологические свойства, которые могут быть улучшены легированием другими элементами и в первую очередь цирконием.

Система Mg—Zr. Растворимость циркония в жидком магнии весьма ограничена (табл. 2.25). На рис. 2.12 представлена часть диаграммы системы Mg—Zr.

Присутствие циркония в магнии вызывает резкое измельчение зерна сплава и повышает механические свойства (табл. 2.26 и рис. 2.13).

2.25. Растворимость циркония в магнии в % (по данным Шаума и Бернетта)

Магний	При t в $^\circ C$			
	604	654	760	791
Твердый	0,89	—	—	—
Жидкий	—	0,58	0,64	0,65

К числу легирующих элементов некоторых сплавов системы относят серебро, кадмий и лантан.

Система Mg—Ag. Система имеет металлическое соединение Mg—Ag ($820^\circ C$), которое по перитектической реакции переходит в соедине-

2.26. Влияние циркония на механические свойства магния (литое состояние)

Состав в %		σ_B в кгс/мм ²	δ в %
Zr.	Mg		
—	100	8,5	4,6
0,31	Остальное	14,6	8,2
1,00	То же	18,8	16,7

$\sigma_B, \sigma_{0,2}, \delta, \text{кгс/мм}^2, \%$

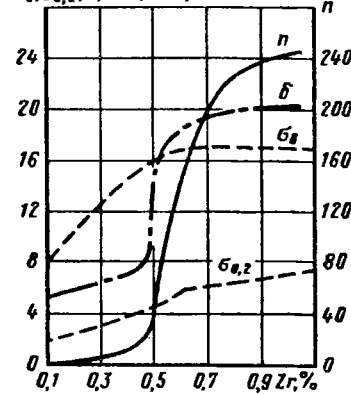


Рис. 2.13. Влияние циркония на структуру и свойства чистого магния по Зауэрвальду (n — число зерен в 1 мм^2)

ние Mg_3Ag . Эвтектика между соединением Mg_3Ag и $Mg_{\text{тв. раств}}$ содержит 48,5% Ag и плавится при $471^\circ C$.

Растворимость серебра в магнии при эвтектической температуре составляет 15,5% и при $300^\circ C$ уменьшается до 3%.

Система Mg—Cd. Кадмий с магнием образуют неограниченную область твердых растворов, α -твердый раствор при $253^\circ C$ переходит в соединение $MgCd$, которое при $180^\circ C$ по перитектической реакции переходит в соединение Mg_3Cd .

Система Mg—La. При $571^\circ C$ образует эвтектика, содержащая 15% La и состоящая из α -твердого раствора лантана в магнии и химического соединения Mg_9La .

Система Mg—Zn—Zr. Данных по тройной диаграмме состояния системы Mg—Zn—Zr очень мало.

Цирконий повышает температуру плавления эвтектики и солидуса сплавов системы Mg—Zn. Температура плавления тройной эвтектики сплавов с содержанием до 10% Zn и 0,7% Zr $\sim 450^\circ C$.

Фазовый состав системы $Mg-Zn-Zr$: α -твердый раствор цинка и циркония в магнии, выделения фаз Mg_2Zn_3 , $ZnZr_3$ или $ZnZr$ и возможно частицы циркония. После термической обработки структура

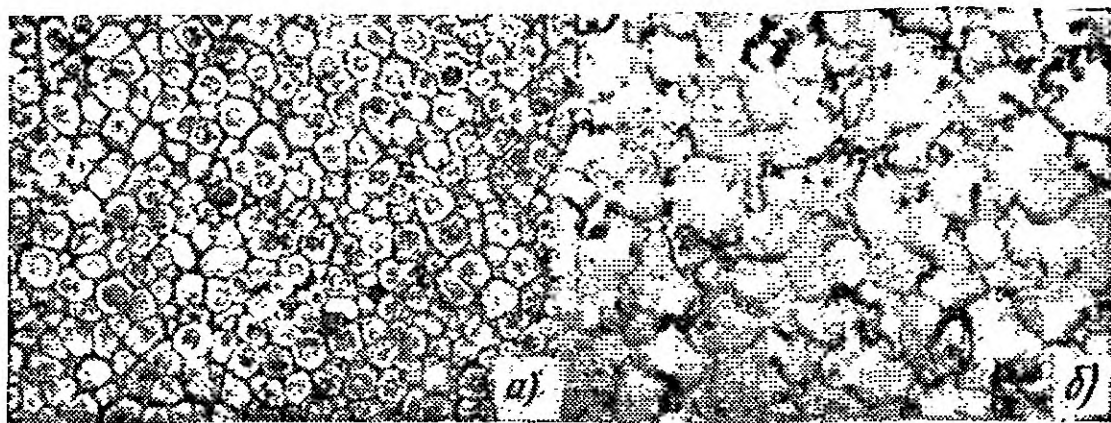


Рис. 2.14. Микроструктура сплава Мл12 в состоянии ($\times 100$):
a — литом; *б* — состаренном (травитель — 2%-ый раствор HNO_3 в дистиллированной воде)

представляет собой зерна твердого раствора с возможным присутствием циркония или цирконидов цинка.

Фазовый состав системы $Mg-Zn-Zr-Cd$: α -твердый раствор цинка, циркония и кадмия в магнии, выделения фазы Mg_2Zn_3 , элемен-

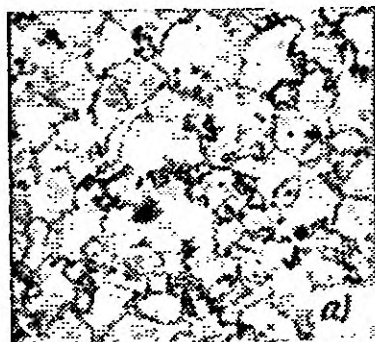
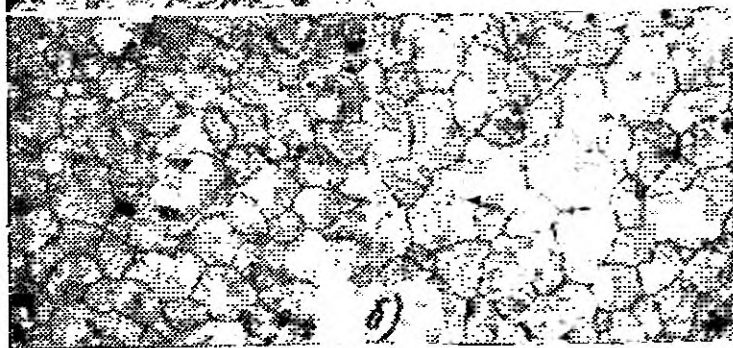


Рис. 2.15. Микроструктура расплава Мл8 ($\times 200$):

a — литого; *б* — термически обработанного по режиму Т6; *I* — из тонкого сечения; *II* — из массивного сечения



тарный цирконий, циркониды цинка. После термической обработки — твердый раствор и включения элементарного циркония.

На рис. 2.14 показана микроструктура сплава Мл12 системы $Mg-Zn-Zr$, а на рис. 2.15 — микроструктура сплава Мл8 системы $Mg-Zn-Zr-Cd$.

Сплав Мл8 (как и сплав Мл12) малочувствителен к влиянию толщины сечения (рис. 2.15), так как обладает мелкозернистой структурой в тонких и в массивных частях.

Фазовый состав системы Mg—Zn—Zr—La: α -твердый раствор цинка, циркония и лантана в магнии, фаза Mg_2Zn_3 и частицы элементарного циркония (возможны циркониды цинка).

Фазовый состав системы Mg—Zn—Zr—Al—Cd: α -твердый раствор цинка, циркония, кадмия, серебра в магнии, фаза Mg_2Zn_3 и частицы элементарного циркония. После термической обработки — α -твердый раствор и частицы элементарного циркония. Возможна фаза Mg_2Zn_3 .

Основные свойства сплавов системы Mg—Zn—Zr. Сплав Мл12 является типичным представителем сплавов системы Mg—Zn—Zr, относится к группе высокопрочных сплавов, отличается сочетанием высоких упругих свойств сплава с высокой пластичностью. Обладает хорошими литейными свойствами, малочувствителен к влиянию толщины стенки, обладает высокими однородными механическими свойствами в различных сечениях детали как в литом, так и в состаренном из литого состояния (табл. 2.27).

2.27. Механические свойства образцов, вырезанных из тонких и массивных сечений отливок, из сплавов Мл8, Мл12

Марка	Сечение отливки	Вид термической обработки	σ_B $\sigma_{0.2}$ δ			σ_B $\sigma_{0.2}$ δ			σ_B $\sigma_{0.2}$ δ		
			в кгс/мм ²			в кгс/мм ²			в кгс/мм ²		
			средние			максимальные			минимальные		
Мл12	Тонкое ¹ (8—15 мм)	Т1	22,3	15,1	7,5	27	16,6	11	19,5	13,8	4
	Массивное ² (25—35 мм)		22,5	—	8,7	28,5	—	13,5	23	13	5
Мл8	Тонкое ¹ (8—15 мм)	Т6	26,1	17,5	7,1	29,5	20,2	14	24,5	15,8	3
	Массивное ¹ (25—35 мм)		26,5	—	7	30,5	—	16,5	22,5	—	2
	Тонкое ¹ (8—15 мм)	Т61	28,3	20,5	7,9	30	21,4	11	26	18,4	4
	Массивное ² (25—35 мм)		28,6	—	7,1	33,5	—	12,5	24,2	—	2,6

¹ Заливка в песчаные формы.

² Заливка в кокили с песчаным стержнем.

Сплав Мл12 мало склонен к влиянию концентраторов напряжений, поэтому изделия из сплава Мл12 обладают в 3—5 раз более высокой устойчивой прочностью, чем изделия из сплава Мл5. По коррозионной стойкости сплав Мл12 превышает сплав Мл5.

Сплав Мл8 относится к сплавам системы Mg—Zn—Zr—Cd обладает хорошими литейными и высокими механическими свойствами, превосходит сплав Мл5 по пределу прочности на 25%, а по пределу текучести в 2 раза (табл. 2.27). Как и сплав Мл12, отличается высокой однородностью механических свойств в различных сечениях отливки, малочувствителен к влиянию микрорыхлоты на механические свойства.

Сплав Мл15 относится к сплавам системы Mg—Zn—Zr—La, имеет хорошие литейные свойства, обладает наиболее высокими жаропрочными свойствами среди сплавов этой группы и повышенной герметичностью, мало склонен к образованию микрорыхлоты.

2.28. Значения механических свойств образцов, вырезанных из отливок сплавов систем Mg—Al—Zn и Mg—Zr (с добавками), в % (значение ¹ свойств отдельно отлитых образцов принято за 100%)

Свойства	Отливки сплавов систем	
	Mg—Al—Zn	Mg—Zr (Mg—Zn—Zr, Mg—Zn—Zr—Cd, Mg—Zn—Zr—La)
σ_B сред	70—75	85—88
σ_B ¹ в мин	50—60	65—70
δ сред	50	60—70
δ ¹ мин	30	40—50

¹ Минимальные значения на одном образце из трех.

2.29. Механические свойства образцов, вырезанных из отливок сплавов системы Mg—Zn—Zr

Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	σ_B сред		σ_B мин		σ_T сред		σ_T мин		δ сред	δ мин				
			при растяжении				при сжатии									
			в кгс/мм ² , не менее										в %			
Мл8	З, О, К В, Г	Т6 Т61	24,0	21,0	17,0	15,0	—	—	2,5	1,5	2,5	1,5				
			26,0	22,0	18,0	16,0	—	—	2,5	1,5						
Мл12	З, О, К В, Г	Литой Т1	17,0	14,0	9,0	7,0	—	—	3,5	2,0	3,0	2,0				
			19,0	16,0	13,0	11,0	—	—	3,0	2,0						
Мл15	З, О, К В, Г	Т1	18,0	15,0	13,0	11,0	13,0	11,0	2,0	1,5	2,0	1,5				
			—	—	—	—	—	—	—	—						

Примечание. Приведены минимальные значения, допускаемые на одном из трех испытуемых образцов.

С п л а в ВМл6 относится к сплавам системы Mg—Zn—Zr—Ag—Cd, обладает хорошими литейными и технологическими свойствами, является наиболее высокопрочным литейным магниевым сплавом, превосходит сплав Мл5 по пределу прочности на 50%, а по пределу текучести в 3 раза.

Вследствие высокой однородности структуры отливок из сплавов, легированных цирконием, механические свойства образцов, вырезанных из деталей, близки к свойствам отдельно отлитых образцов (табл. 2.28). Механические свойства образцов, вырезанных из отливок сплавов Мл8, Мл12 и Мл15, приведены в табл. 2.29.

Из сплавов системы Mg—Zn—Zr по специальной методике литья можно изготавливать детали с повышенными механическими свойствами (табл. 2.30). Механические свойства образцов, вырезанных из отливок повышенной прочности из сплавов Мл8 и Мл12, приведены в табл. 2.31.

2.30. Значения механических свойств образцов, вырезанных из отливок сплавов Мл8 и Мл12, в % (значение свойств отдельно отлитых образцов принято за 100%)

Свойства	Отливки	
	обычные	повышенной прочности
σ_B сред	85—88	90—100
σ_B мин	65—70	80—95
δ сред	60—70	90—100
δ мин	40—50	50—75

2.31. Механические свойства образцов, вырезанных из отливок повышенной прочности

Марка сплава	Режим термической обработки	Класс прочности	σ_B		$\sigma_{0,2}$		δ в %	
			средний	минимальный ¹	средний	минимальный ¹	среднее	минимальное ¹
			не менее, в кгс/мм ²					
Мл8	Т61 Т6 Т6 Т6 Т61	1	29	26	20	18	6	2
		2	28	25	19	17	4	2,5
		3	26	23	18	16	3	2
		4	24	21	17	15	2,5	1,5
		4	26	22	18	16	2,5	1,5
Мл12	Т1	1	25	22	15	13	6	3
		2	23	20	14	12	5	2,5
		3	20	17	13	11	4	2
		4	19	16	13	11	—	—

¹ Приведены минимальные значения, допускаемые на одном образце из трех.

Сплавы системы Mg—ΣРЗМ—Zr

Сплавы этой группы относятся к жаропрочным магниевым сплавам. Жаропрочность сплавов обеспечивается их гетерогенной структурой с мелкими включениями упрочняющих фаз. Легирование твердого

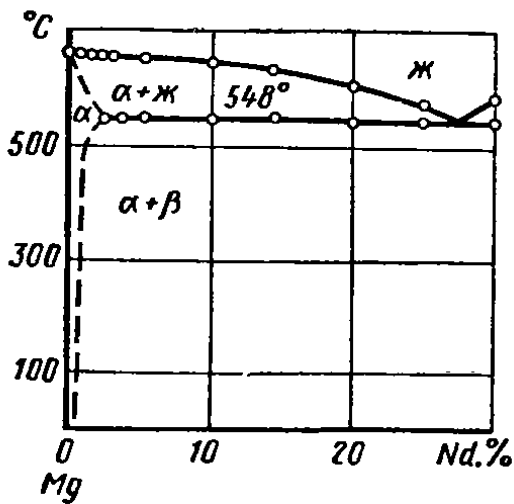


Рис. 2.16. Часть диаграммы состояния сплавов системы Mg—Nd

раствора способствует максимальному замедлению диффузионных процессов на поверхности раздела фаз. Выделение мелкодисперсных продуктов распада твердого раствора как внутри, так и по границам зерен повышает жаропрочность сплавов при малой скорости диффузионных процессов и рабочей температуре. По А. А. Бочвару, для повышения жаропрочности также должна обеспечиваться возможно большая прочность границ зерен, что достигается образованием тонкого каркаса упрочняющей фазы, блокирующей границы зерен. Сплавы магния с редкоземельными металлами по своим свойствам при повышенных температурах могут быть расположены в следую-

щем порядке: Mg—Nd; Mg—Pr; Mg—ΣРЗМ; Mg—Ce; Mg—La.

Все диаграммы состояния сплавов магния с редкоземельными металлами имеют сходный характер: высокая температура образования

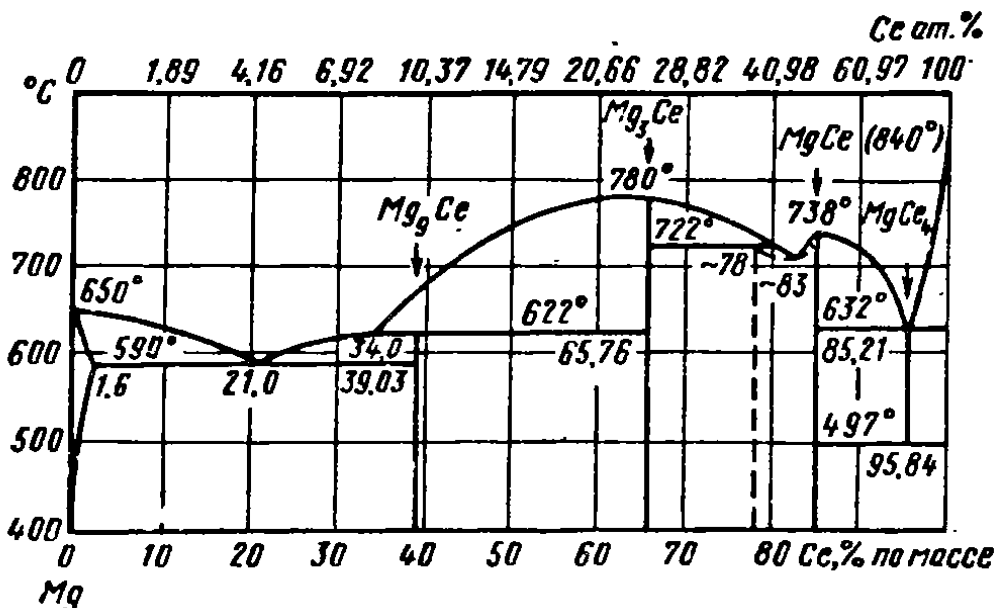


Рис. 2.17. Диаграмма состояния сплавов системы Mg—Ce

эвтектик, наличие нескольких металлических соединений и ограниченная растворимость редкоземельного металла в магнии.

На рис. 2.16 и 2.17 приведены диаграммы состояния сплавов систем Mg—Nd и Mg—Ce. Согласно этим диаграммам системы имеют соединение Mg_9Rc^1 , образующееся по перитектической реакции. По Кри-

¹Rc — соответствующий редкоземельный металл.

пякевичу, соединение в системе Mg—Nd имеет формулу не Mg_9Nd , а $Mg_{12}Nd$. Растворимость неодима в магнии при эвтектической температуре составляет 1,8% и понижается с уменьшением температуры. Растворимость церия в магнии (в твердом состоянии) зависит от температуры:

t в °С	Растворимость в %
570	1,6
550	1,0
500	0,5
337	0,15

Сплавы магния с редкоземельными металлами дополнительно легируют цинком, индием и цирконием. Добавка цинка и индия упрочняет твердый раствор. Основное назначение циркония — измельчение зерна и повышение технологических и механических свойств сплава.

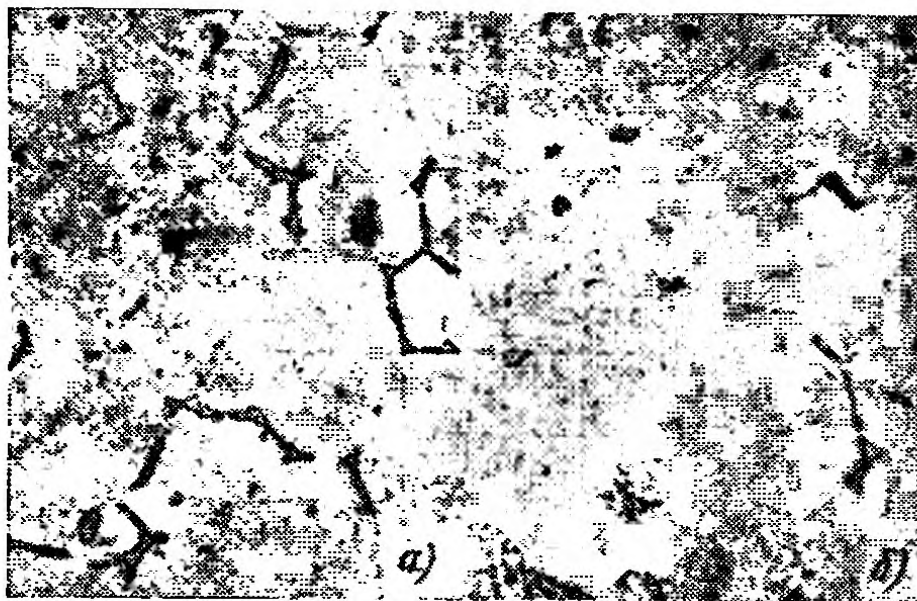


Рис. 2.18. Микроструктура сплава М10 в состоянии ($\times 200$):
а — литом; б — после термической обработки по режиму Т6

Фазовый состав сплавов системы Mg—РЗМ—Zr. В литом состоянии включает твердый раствор редкоземельных металлов, цинка или индия и циркония в магнии и эвтектику, содержащую в основном соединение Mg_9Re ($Mg_{12}Re$). После термической обработки соединение Mg_9Nd ($Mg_{12}Nd$ — по Крипякевичу) переходит в твердый раствор, дополнительно упрочняя его (рис. 2.18).

Вследствие меньшей растворимости церия и празеодима в магнии после термической обработки в структуре сплавов Mg— \sum РЗМ—Zr по границам зерен остается значительное количество фазы Mg_9Ce и Mg_9Pr (рис. 2.19).

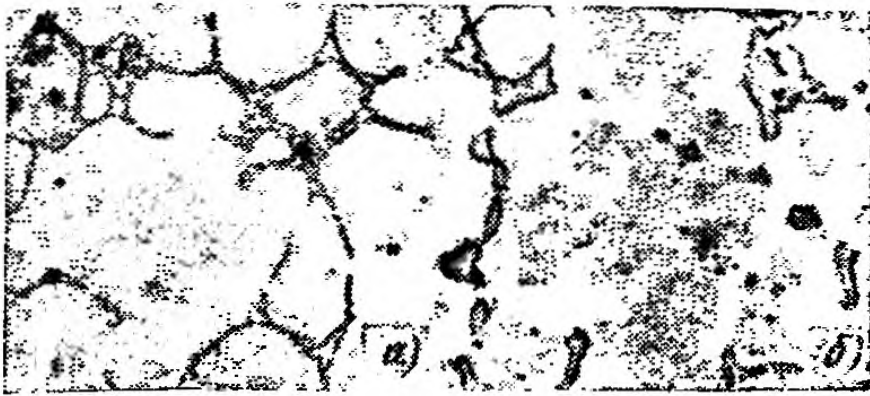


Рис. 2.19. Микроструктура сплава Мл11 в состоянии ($\times 500$):

a — литом; *b* — после термической обработки по режиму Т6

Указанное различие в структуре сплавов обеих систем определяет низкие механические свойства и меньшую пластичность сплавов системы $Mg-\Sigma PЗМ-Zr$ при комнатной температуре по сравнению со сплавами системы $Mg-Nd-Zr$.

Основные свойства сплавов системы $Mg-PЗМ-Zr$. Сплав Мл9 относится к группе жаропрочных сплавов системы $Mg-Nd-Zr-In$, обладает хорошими литейными и технологическими свойствами. Как и сплавы Мл10 и Мл11, мало склонен к образованию микрорыхлоты и горячих трещин, имеет однородные механические свойства и мало-

2.32. Механические свойства образцов, вырезанных из отливок сплавов системы $Mg-PЗМ-Zr$

Марка сплава	Способ литья	Режимы термической обработки	σ_B		$\sigma_{0,2}$				δ (не менее) в %	
			средний	минимальный	при растяжении		при сжатии		среднее	минимальное
					среднее	минимальное	среднее	минимальное		
не менее, в кгс/мм ²										
Мл9	З, О, К В, Г	Т6	18,0	15,0	11,0	10,0	11,0	10,0	2,5	2,0
Мл10	З, О, К В, Г	Т6	18,0	15,0	12,0	10,0	11,0	10,0	2,5	1,5
Мл11	З, О, К В, Г	Т2	10,5	9,0	1,5	1,0	—	—	—	—
		Т4	12,0	10,0	2,0	1,5	8,5	7,0	8,5	7,0
Т6		12,0	10,0	1,5	1,0	10,0	8,0	10,0	8,0	
	Д	Т2	11,0	9,0	—	—	—	—	1,5	1,0

чувствителен к влиянию сечения отливки. Обладает наибольшей жаропрочностью среди сплавов этой группы и пригоден для длительной эксплуатации при температурах 250—300° С.

Сплав Мл10, жаропрочный сплав системы Mg—Nd—Zr—Zn, обладает хорошими литейными свойствами и высокой герметичностью, пригоден для длительной эксплуатации при температурах до 250° С. Предел ползучести сплава Мл10 при 250° С за 100 ч выше, чем сплава Мл5 при 150° С.

Сплав Мл11 относится к жаропрочным сплавам системы Mg—ΣРЗМ—Zr—Zn, обладает хорошими литейными и технологическими свойствами. Механические свойства сплава Мл11 при комнатной температуре пониженные, при повышенных температурах близки к сплаву Мл10.

Механические свойства образцов, вырезанных из отливок сплавов Мл9, Мл10, Мл11, приведены в табл. 2.32.

4. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В табл. 2.33—2.39 приведены данные о физических, технологических и механических свойствах литейных магниевых сплавов при комнатных, повышенных и пониженных температурах.

2.33. Физические свойства литейных магниевых сплавов

Сплав	ρ в г/см ³	α · 10 ⁶ в 1/°С в интервале температур испытаний в °С			λ в кал/(см·с·°С)	с в кал/(г·°С)
		20—100	20—200	20—300		
Мл2	1,80	26,6	27,3	27,7	0,32	0,25
Мл3	1,78	26,0	27,0		0,25	0,25
Мл4						
Мл4п.ч.	1,83	26,4	27,6	29,3	0,19	0,25
Мл5						
Мл5п.ч.	1,81	26,8	28,1	28,7	0,185	0,25
Мл6	1,81	26,1	27,3	27,7	0,185	0,25
Мл7-1	1,76	27,4	27,7	27,8	0,18	—
Мл8	1,82	26,6	27,8 *	28,0 **	—	0,25
Мл9	1,76	23,4	27,1	28,9	0,28	—
Мл10	1,78	27,7	28,0	28,3	0,27	—
Мл11	1,80	21,9	22,7	24,8	0,28	—
Мл12	1,81	26,2	29,5 *	31,1 **	0,32	0,25
Мл15	1,83	25,9	26,9	27,9	0,33	0,22
ВМл6	1,93	27,1	28,0 *	28,9 **	0,25	0,25

* Интервал 100—200° С.

** Интервал 200—300° С.

2.34. Технологические свойства магниевых сплавов

Сплав	Линейная усадка в %	Жидкотекучесть (прутковая проба) в мм	Склонность к горячим трещинам	Герметичность	Склонность к образованию микрорыхлоты	Чувствительность к влиянию на механические свойства		Свариваемость	Коррозионная стойкость
						микрорыхлоты	толщины сечения		
Мл2	1,6—1,9	270	50	Повышенная	Малая	Малая	Средняя	Хорошая	Повышенная
Мл3	1,4—1,6	215	42,5	»	»	»	Малая		
Мл4	1,2—1,4	245	37,5	Пониженная	Повышенная	Повышенная	Средняя	Удовлетворительная	То же
Мл4п.ч.	1,2—1,4	245	37,5	»	»	То же	»		
Мл5	1—1,2	290—300	30						Удовлетворительная
Мл5п.ч.	1—1,2	290—300	30	Средняя	Средняя	То же	Повышенная	То же	
Мл5о.н.	1—1,2	290—300	30					То же	
Мл6	1,1—1,2	330	27,5	Средняя	Средняя	То же	То же	То же	Удовлетворительная
Мл7-1	1,2—1,5	250	32,3—37,5	Повышенная	»	Средняя	Средняя		
Мл8	1,2—1,4	290	30—32,5	»	»				
Мл9	1,2—1,4	250	25	Высокая	Малая			Хорошая	
Мл10	1,2—1,5	250	15—20	»	»				
Мл11	1,2—1,4	290	20	»	»				
Мл12	1,2—1,4	290	30—32,5	Повышенная	Средняя	Малая	Малая	Удовлетворительная	
Мл15	1,2—1,5	320	27,5—30	Высокая	Малая				
ВМл6	1,2—1,4	315	27,5—30	Повышенная	»			Удовлетворительная	

Примечание. Обрабатываемость сплавов отличная.

2.35. Минимальные механические свойства магниевых сплавов
(отдельно отлитые образцы)

Сплав	Способ литья	Режим термической обработки	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ в %
			не менее, в кгс/мм ²		
Мл2	З	—	9	—	3
Мл3	З	—	16	—	6
Мл4 и Мл4п.ч.	З	— Т4 Т6	16 22 23	— — —	3 5 2
Мл5 и Мл5п.ч.	З, К	— Т2 Т4 Т6	15 15 23 23	— — 8,5 —	2 2 5 2
Мл5о.н.	З, К	— Т4 Т6	15 22 23	— — —	2 5 2
Мл6	З, К	— Т4 Т6 Т61	15 22 22 23	— 11 14 14	1 4 1 1
Мл7-1	З	—	16	—	4
Мл8	З, К	Т6 Т61	27 28	17 18	4 4
Мл9	З, К	Т6	23	11	4
Мл10	З, К	Т6	23	14	3
Мл11	З З З	— Т2 Т4	12 12 14	— — 8,5	1,5 1,5 3
Мл12	З, К	Т1 —	23 20	13 9	5 6
Мл15	З, К	Т1	21	13	3
ВМл6	З, К	Т6 Т61	33 34	24 25	5 6

2.36. Типичные механические свойства образцов из магниевых сплавов

Сплав	Состояние и вид термической обработки	E	G	При растяжении					При сжатии			Δ в %
				σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	δ	ψ	$\sigma_{BСЖ}$	$\sigma_{0,2СЖ}$	Δ в %	
				в кгс/мм ²					в %			
Мл2 Мл3	Литой »	4200 4200	— —	10,0 18,0	3,0 5,5	— —	4,0 8,0	6,0 12,0	16,0 25,0	— —	25 —	
Мл4 и Мл4п.ч.	Литой Т4 Т6	4200 4200 4200	1600 1600 1600	18,0 25,0 25,5	9,5 8,5 11,5	— 1,8 4,5	5,0 9,0 6,0	6,0 13,0 8,0	— 37,0 39,0	— — —	— 16,0 14,0	
Мл5 и Мл5п.ч.	Литой Т4 Т6	4200 4200 4200	1600 1600 1600	16,0 25,0 25,5	9,5 9,0 12,0	— 3,0 4,5	3,0 9,0 4,0	4,0 15,0 8,5	— 36,5 34,0	— — —	— 16,5 —	
Мл6	Т4 Т6	4200 4200	1670 1670	25,0 26,0	10,0 14,0	— —	5,0 1,0	12,0 3,0	32,0 38,0	— —	— —	
Мл7-1	Литой	4200	1550	18,0	7,0	—	6,0	7,0	—	—	—	
Мл8	Т6 Т61	4200 4200	1650 1650	29,0 30,0	19,0 20,0	10,0 12,0	6,0 7,0	13,0 8,0	43,0 43,0	19,0 19,0	— —	
Мл9 Мл10	Т6 Т6	4300 4200	1600 1650	25,0 24,0	12,0 15,0	6,0 10,0	6,0 5,0	8,0 7,0	— —	12,0 14,0	— —	
Мл11	Литой Т4 Т6	4200 4200 4200	1600 1600 1600	13,0 15,0 16,0	10,0 9,0 10,5	4,0 4,0 4,5	3,0 5,0 3,0	3,5 — —	— — —	— — —	— — —	
Мл12	Литой Т1	4400 4400	1650 1650	22,0 25,0	12,0 15,0	8,0 9,0	7,0 6,0	8,0 7,0	— 36,0	— 14,0	— —	
Мл15	Т1	4300	1650	22,0	15,0	8,0	4,0	5,0	38,0	15,0	—	
ВМл6	Т6 Т61	4300 4300	1650 1650	34,0 35,0	25,0 26,0	17,0 17,0	7,0 8,0	12,0 10,0	45,0 45,0	— 25,0	— —	

Продолжение табл. 2.36

Сплав	Состояние и вид термической обработки	При кручении				a_H в кгс-ж/см ²	σ_{-1}	
		τ_B	$\tau_{0,2}$	$\tau_{пц}$	$\tau_{ср}$		образец гладкий	образец с над- резом
		в кгс/мм ²					в кгс/мм ²	
Мл2 Мл3	Литой »	— —	— —	— —	7,0 11,0	0,5 0,5	— 5,0	— —
Мл4 и Мл4п.ч.	Литой Т4 Т6	13,0 16,5 18,0	— 4,5 6,0	— — —	13,0 13,5 14,5	0,2 0,4 0,2	4,5 — 8,0	— — 7,0
Мл6 и Мл5п.ч.	Литой Т4 Т6	12,0 15,5 17,0	— 4,0 6,0	— — —	— 13,5 14,0	— 0,5 0,3	4,5 8,5 8,5	— 7,0 7,0
Мл6	Т4 Т6	17,0 17,5	— —	— —	14,0 14,5	0,3 0,2	9,5 8,5	7,5 7,0
Мл7-1	Литой	—	—	—	—	—	5,5	5,0
Мл8	Т6 Т61	— 20,0	— 9,5	— 5,0	— —	0,3 0,3	7,5 7,5	— —
Мл9 Мл10	Т6 Т6	19,0 —	7,5 —	— —	17,0 18,0	0,65 0,5	6,0 8,0	— —
Мл11	Литой Т4 Т6	— — —	— — —	— — —	— 12,0 12,0	— — —	7,0 7,0 —	— 5,0 —
Мл12	Литой Т1	— 19,0	— 9,5	— 5,0	15,5 15,5	0,4 0,4	— 7,5	— —
Мл15	Т1	17,0	9,0	—	15,0	0,2	9,0	7,0
ВМл6	Т6 Т61	— 23,0	— 16,0	— —	— —	0,28 0,28	9,0 9,0	— —

2.37. Механические свойства высокопрочных магниевых сплавов при повышенных температурах

Сплав	Состояние и вид термической заготовки	Температура испытания в °С	$\sigma_{0,2}$		δ в %	σ_{10}	σ_{100}	$\sigma_{0,2/10}$	$\sigma_{0,2/100}$
			в кгс/мм ²						
Мл3 (средней прочности)	Литой	20	18,5	5,5	8,0	—	—	—	—
		100	16,0	5,0	10,0	—	—	—	3,9
		150	14,5	4,5	11,0	—	—	—	3,5
		200	10,5	4,0	12,0	—	—	—	2,5
Мл4 и Мл4п.ч.	Т4	20	25,0	—	9,0	—	—	—	—
		100	24,0	8,0	7,0	—	—	—	6,6
		150	21,0	7,5	15,0	—	—	—	2,9
		200	15,0	6,8	25,0	—	—	—	1,2
Мл5 и Мл5п.ч.	Т4	20	25,0	8,5	9,0	—	—	—	—
		100	23,0	8,0	10,0	—	—	—	—
		150	18,5	6,0	12,0	12,0 *	8,5	4,5 *	2,5
		200	15,5	5,0	15,0	7,5 *	4,5	3,5 *	0,8
		250	12,0	4,0	15,0	4,5 *	2,5	—	—
Мл6	Т4	20	22,0	—	5,0	—	—	—	—
		100	22,0	—	5,0	—	—	—	7,2
		150	21,0	—	18,0	—	—	—	2,4
		200	15,0	—	20,0	—	—	—	0,7
Мл8	Т6	20	29,0	19,0	6,0	—	—	—	—
		150	15,5	11,0	15,0	10,5	8,5	—	4,5
		200	12,0	9,0	15,0	6,5	—	3,0	—
	Т61	20	30,0	20,0	7,0	—	—	—	—
		150	16,5	13,0	12,0	11,0	9,0	—	5,0
		200	13,0	10,0	14,0	7,0	—	3,5	—
Мл12	Т1	20	25,0	15,0	9,0	—	—	—	—
		150	16,0	11,0	8,0	10,0 *	8,0	5 *	4
		200	14,0	8,5	10,0	7,5 *	8,0	3,5 *	—
		250	10,0	6,0	12,0	3,5 *	2,0	1,2 *	—
ВМл6	Т6	20	34,0	25,0	7,0	—	—	—	—
		150	20,0	16,0	15,0	—	—	—	—
		200	16,5	13,0	20,0	—	—	—	—
	Т61	20	35,0	26,0	8,0	—	—	—	—
		150	20,0	17,0	17,0	—	12,0	—	5,0
		200	17,5	14,0	18,0	9,0	—	3,5	—

* Продолжительность испытания 5 ч.

2.38. Механические свойства при повышенных температурах литых жаропрочных магниевых сплавов, а также сплавов Мл7-1 и Мл15 (с повышенной жаропрочностью)

Сплав	Состояние и вид термической обработки	Температура испытания в °С	$\sigma_{0,2}$		δ в %	σ_{10}	σ_{100}	σ_{1000}	$\sigma_{0,2/10}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/1000}$
			в кгс/мм ²								
Мл7-1	Литой	20	18,0	7,0	6,0	—	—	—	—	—	—
		100	16,0	6,5	6,5	—	—	—	—	—	—
		150	15,5	6,5	6,5	—	9,0	—	—	—	5,5
		250	10,0	5,5	12,5	—	—	—	—	—	—
Мл9	Т6	20	25,0	12,0	6,0	—	—	—	—	—	—
		200	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		250	18,0	11,0	15,0	13,0	8,0	5,0	—	—	9,5
		300	15,0	10,0	20,0	—	3,5	—	—	—	4,5
		350	10,0	7,0	30,0	3,0 *	—	—	—	—	1,8
		400	6,0	3,5	40,0	—	—	—	—	—	—
Мл10	Т6	20	24,0	15,0	5,0	—	—	—	—	—	—
		200	18,5	13,5	8,0	17,0	13,0	10,0	—	—	11,0
		250	17,0	12,5	13,0	11,0	7,0	4,0	—	—	3,8
		300	13,5	11,0	17,0	6,0	2,5	—	—	—	—
350	10,0	7,5	25,0	—	—	—	—	—	—		
Мл11	Литой	20	13,0	10,0	3,0	—	—	—	—	—	—
		200	13,0	9	9	—	—	—	—	—	—
		250	12,5	—	13	10,0 *	5,0	—	—	—	5,0
		300	11,0	—	17	—	—	—	—	—	2,5
Мл15	Т1	20	16,0	10,5	3,0	—	—	—	—	—	—
		200	14,0	8,0	6	—	—	—	—	—	6,5
		250	13,0	7,5	8,5	10,0 *	5,5	—	—	—	3,0
		300	10,5	6,0	30,0	6,5 *	2,5	—	—	—	—
		350	7,5	4,5	30,0	—	—	—	—	—	—
Мл15	Т1	20	22,0	15,0	4,0	—	—	—	—	—	—
		150	14,5	10,5	5,0	—	—	—	—	—	—
		200	12,5	8,5	13,0	8,5 *	6,5	—	—	—	6,5
		250	10,0	6,5	16,0	5,5 *	4,0	—	—	—	4,0
		300	7,5	5,0	16,0	4,0 *	—	—	—	—	—
		350	5,5	3,5	16,0	—	—	—	—	—	—

* Продолжительность испытания 5 ч.

2.39. Механические свойства магниевых сплавов при низких температурах

Сплав	Состояние и вид термической обработки	Температура испытания в °С	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	σ_H в кгс/мм ²
			в кгс/мм ²		в %		
Мл5	Т6	-40	23,0	—	4,0	6,0	0,3
		-70	25,0	—	4,0	6,0	0,3
		-196	25,0	—	2,0	4,0	0,3
Мл6	Т4	-70	27,0	—	5,0	8,5	0,3
	Т6	-70	27,5	—	1,0	2,5	0,1
Мл7-1	Литой	20	19,0	—	8,0	9,0	—
		-70	19,5	—	5,0	5,5	—
Мл8	Т6	20	29,0	6,0	—	0,3	0,25
	Т	-70	33,0	20,0	4,0	—	
Мл8	Т61	20	30,0	20,0	7,0	—	0,3
		-70	33,0		4,0	—	0,25
Мл9	Т6	20	25	—	6,0	6,0	0,7
		-196	32	—	4,0	4,5	0,7
Мл10	Т6	20	24,0	15,0	5,0	7,0	0,5
		-70	30,0	16,5	5,0	6,5	0,4
		-196	32,0	20,0	4,0	6,5	0,4
Мл12	Литой	20	22,0	12,0	7,0	8,0	0,5
		-70	23,0	16,0	2,5	—	0,4
Мл12	Т1	20	26,0	15,0	6,0	7,0	0,4
		-70	25,0	20,0	2,0	—	0,4
Мл15	Т1	20	22,0	15,0	4,0	5,0	0,2
		-70	21,0	14,5	1,0	3,2	0,18
		-196	22,0	16,0	1,0	3,0	0,15
ВМл6	Т6	20	34,0	25,0	7,0	12,0	0,28
		-70	33,0	26,0			0,25
ВМл6	Т61	20	35,0	26,0	8,0	10,0	0,28
		-70	35,0	26,0			0,25

5. ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Для подготовки шлифов применяют обычные методы с учетом большей мягкости и окисляемости материала по сравнению с другими конструкционными сплавами (табл. 2.40).

2.40. Подготовка шлифов из магниевых сплавов

Шлифованная поверхность образца	Абразивный материал	Полирование шлифа	Абразивный материал
На стайках с горизонтально расположенными кругами с частотой вращения 800—1200 об/мин и до 1500 об/мин	Шлифовальная бумага № 36, 120, 180, 280	На станках с горизонтально расположенными кругами, обтянутыми сукном. Скорость вращения круга 700—800 об/мин	Оксид магния (2—2,5 г), разведенная в воде (500 г); можно также брать оксид алюминия или оксид хрома
	То же	Дополнительное полирование кругами, обтянутыми бархатом или тонким сукном. Скорость вращения круга 500—800 об/мин	То же. Вместо воды можно применять 0,001%-ный раствор едкого натра в воде
Вручную при приготовлении шлифов из сплавов с легко выкрашивающимися частицами	То же		

После полирования шлиф промывают в спирте и высушивают в струе теплого воздуха. В табл. 2.41 приведены основные травители, применяемые для металлографического анализа.

6. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Магниевые сплавы широко применяют в различных областях техники (табл. 2.42). В зависимости от состава сплава и назначения детали отливки можно получать литым в песчаные, оболочковые и гипсовые формы, в кокиль, под давлением и по выплавляемым моделям (табл. 2.43). Влияние различных сред на коррозионную стойкость магниевых сплавов описано в табл. 2.44.

Состав травителя в мл	Назначение	Способ выявления структуры
При анализе микроструктуры		
1. Щавелевая кислота 2, дистиллированная вода 98	Для выявления структуры магния	Поверхность шлифа протереть ватой, смоченной травителем в течение 2—5 с, затем промыть в спирте, горячей воде и высушить
2. Концентрированная азотная кислота 1, дистиллированная вода 99	Для выявления составляющих сплавов (система Mg—Al—Zn) в литом состоянии	Поверхность шлифа смачивают травителем в течение 3—5 с, затем промывают в спирте, горячей воде и высушивают
3. Концентрированная азотная кислота 2, этиловый спирт 98	Для выявления составляющих сплавов после термической обработки	Поверхность шлифа погружают в травитель на 5—10 с, промывают в горячей воде и высушивают
4. Концентрированная азотная кислота 2, дистиллированная вода 98	Для выявления составляющих сплавов системы Mg—Zn—Zr в литом состоянии и после термической обработки	Поверхность шлифа смачивают травителем ватой или погружением в течение 3—10 с, затем промывают спиртом, горячей водой и высушивают
5. Этиленгликоль или диэтиленгликоль 75, концентрированная азотная кислота 1, дистиллированная вода 24	Для выявления структуры литых или термически обработанных сплавов систем Mg—Al—Zn и Mg—Zr с другими компонентами	Травитель наносят на шлиф ватой в течение 5—10 с для литых сплавов и от 30 с до 2 мин для термически обработанных сплавов, затем промывают в спирте или горячей воде и высушивают
6. Этиленгликоль или диэтиленгликоль 60, уксусная кислота 20, концентрированная азотная кислота 1, дистиллированная вода 19	Для выявления структуры термически обработанных сплавов	Травитель наносят на поверхность в течение 5—30 с, затем стирают ватой, смоченной в спирте и высушивают
7. 48%-ная плавиковая кислота 1, дистиллированная вода 99	Для выявления структуры составляющих сплавов системы Mg—Al—Zn	Поверхность шлифа протирают ватой, смоченной травителем в течение 20—30 с, затем промывают в горячей воде и высушивают

Продолжение табл. 2.41

Состав травителя в мл	Назначение	Способ выявления структуры
8. 48%-ная плавиковая кислота 10, дистиллированная вода 90	Для выявления составляющих Mg ₂ Al ₃ (черного цвета) и фазы T (белого цвета) в сплавах системы Mg—Al—Zn	Поверхность шлифа протирают ватой, смоченной травителем в течение 1—2 с, далее шлиф промывают в воде, а затем в спирте и потом высушивают
8б. 5%-ный пикраль 10, дистиллированная вода 90 (состав 5%-ного пикраля: пикриновой кислоты 5 г, спирта этилового 95 мл)	Для выявления границ зерен сплавов	После этого на поверхность шлифа наносят ватой травитель 8б, далее шлиф промывают в спирте, горячей воде и высушивают
9. Ортофосфорная кислота 0,7, пикриновая кислота 4,3, этиловый спирт 95	Для выявления границ зерен термически обработанных сплавов	Поверхность шлифа смачивают травителем в течение 5—10 с, затем промывают спиртом и высушивают
10. Винная кислота 2, дистиллированная вода 98	Для выявления границ зерен термически обработанных сплавов	Поверхность шлифа протирают ватой, смоченной травителем в течение 5—10 с, затем промывают в горячей воде и высушивают
При анализе макроструктуры		
11. Уксусная кислота 10, дистиллированная вода 90	Для выявления размеров макрозерна чистого магния	Травитель наносят на поверхность шлифа в течение 10с — 2 мин, затем шлиф промывают в горячей воде и высушивают
12. Уксусная кислота 10, этиловый спирт 10, пикриновая кислота 10, дистиллированная вода 70	Для выявления размеров макрозерна литых и термически обработанных магниевых сплавов	Травитель наносят каплями на поверхность шлифа до появления покраснения на поверхности, далее шлиф промывают в горячей воде и высушивают от струе воздуха
13. Концентрированная азотная кислота 5, этиловый спирт 95	Для выявления размеров макрозерна магниевых сплавов	Травитель наносят на поверхность в течение 5—30 с, шлиф промывают в спирте, затем в горячей воде и высушивают

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
Мл2	Высокая коррозионная стойкость по сравнению с другими магниевыми сплавами, повышенная герметичность. Сплав хорошо сваривается	Низкие технологические и механические свойства, высокая склонность к образованию горячих трещин	Слабонагруженные детали, требующие максимально высокой коррозионной стойкости и повышенной герметичности (горловины, бензобаки, бензозаслонная аппаратура). Рабочая температура до 150° С
Мл3	Повышенная герметичность	Пониженные литейные свойства по сравнению со сплавом Мл5, повышенная склонность к образованию горячих трещин, относительно низкие механические свойства	Детали простой конфигурации, требующие повышенной герметичности (детали арматуры, корпуса насосов). Рабочая температура до 150° С
Мл4	Относительно высокие механические свойства в литом и термически обработанном состоянии	Повышенная склонность к образованию микрорыхлоты в отливках, склонен к горячим трещинам	Корпусные детали, подвергающиеся статическим и динамическим нагрузкам (корпусы приборов и инструментов, фермы, штурвалы и т. д.). Рабочая температура до 150° С
Мл4п.ч.	Повышенная коррозионная стойкость в литом и термически обработанном состоянии, механические свойства аналогичны сплаву Мл4	То же	Те же, и еще детали, требующие высокой коррозионной стойкости
Мл5	Хорошие литейные технологические свойства, высокие механические свойства в термически обработанном состоянии	Повышенная чувствительность к влиянию микрорыхлоты и толщины сечения на механические свойства, относительно невысокие значения предела текучести	Сплав универсального назначения. Нагруженные детали двигателей, автомобилей, самолетов, для приборов, корпусов тормозных барабанов, колес. Рабочие температуры до 150° С, при кратковременной эксплуатации, до 250° С
Мл5п.ч.	Повышенная коррозионная стойкость, технологические и механические свойства аналогичны сплаву Мл5	То же	Те же; кроме того, применяется в более жестких условиях эксплуатации, в частности тропического и морского климата с возможным попаданием брызг морской воды

Продолжение табл. 2.42

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
Мл5б.н.	То же, что и сплав Мл5. Наиболее дешевый из высокопрочных сплавов	То же. Коррозионная стойкость пониженная	Те же. Сплав общего назначения, когда в работе деталей не предъявляют особых требований в отношении коррозионной стойкости
Мл6	Хорошие литейные свойства, высокие механические свойства в термически обработанном состоянии, повышенный предел текучести	Повышенная чувствительность к влиянию микрорыхлоты на механические свойства, повышенная пластичность сплава	Нагруженные детали, корпусные детали, детали приборов, аппаратуры. Целесообразно применение для деталей, требующих повышенного предела текучести. Рабочая температура до 150° С
Мл7-1	Сплав средней прочности с повышенной жаропрочностью (более чем у сплава Мл5)	Повышенная склонность к образованию горячих трещин, относительно невысокие механические свойства при комнатных температурах	Детали двигателей, приборов, нагреваемых при работе до 200° С
Мл8	Высокие механические свойства (σ_B , $\sigma_{0.2}$, δ). Однородность механических свойств независимо от толщины сечения. Малая чувствительность к влиянию микрорыхлоты на механические свойства, хорошие литейные свойства. Отношение $\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_B} \approx \frac{2}{3}$	Более сложная методика плавки и термической обработки, чем у сплава Мл5	Высоконагруженные корпусные детали, детали плоской формы и пространственной конфигурации типа кронштейнов, ферм, деталей приборов и аппаратов, требующих высокой усталостной прочности. Рабочие температуры до 150° С, при кратковременной эксплуатации до 200° С.
Мл9	Хорошие литейные и технологические свойства, высокая герметичность, высокие механические свойства, особенно при повышенных температурах	Более сложная технология изготовления отливок, чем из сплава Мл5. Более высокая стоимость отливки	ЗамениТЕЛЬ ряда литейных (АЛ9, АЛ14), а также деформируемых алюминиевых сплавов Нагруженные детали двигателей самолетов, различные корпусные детали. Рабочие температуры до 300° С, при кратковременной эксплуатации до 400° С

Сплав	Особенности		Области применения
	положительные	отрицательные	
Мл10	Хорошие литейные технологические свойства, высокая герметичность, высокие и однородные механические свойства, особенно при повышенных температурах	Более сложная технология изготовления отливок, чем у сплава Мл5, более высокая стоимость отливки	Нагруженные детали двигателей, самолетов, приборов, различные корпусные детали. Детали, требующие высокой герметичности и стабильности размеров. Рабочие температуры до 250° С, при кратковременной эксплуатации до 350° С
Мл11	Повышенная герметичность отливок, высокие механические свойства при повышенных температурах	Низкие механические свойства при комнатных температурах, пониженная пластичность, более сложная технология изготовления отливок, чем из сплава Мл5	Средненагруженные детали двигателей, различные корпуса, нагревающиеся при эксплуатации до 250° С. Корпусы помп, насосов, требующие высокой герметичности
Мл12	Высокие механические свойства как в литом, так и в термически обработанном состоянии. Однородность механических свойств в тонкостенных и в массивных сечениях, высокая усталостная прочность в конструкциях	Более сложная методика изготовления отливок, чем из сплава Мл5	Высоконагруженные детали, различные корпуса, детали тормозных колес, работающие при ударных нагрузках. Детали требующие высокой усталостной прочности в конструкциях.
Мл15	Хорошие литейные технологические свойства, повышенная герметичность, наиболее жаропрочный из группы высокопрочных сплавов, высокие и однородные свойства в отливках	Более сложная методика изготовления отливок, чем из сплава Мл5. Сравнительно невысокая пластичность	Рабочие температуры до 200° С, при кратковременной работе до 250° С
ВМл6	Высокие механические свойства, наиболее высокопрочный из всех литейных сплавов. Высокие и однородные механические свойства в отливках. $\text{Отношение } \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B} \approx \frac{2}{3}$	Более сложная методика изготовления отливок, чем из сплава Мл5	Нагруженные детали двигателей приборов, работающие в условиях повышенных температур до 200° С (кратковременно до 300—350° С)
			Особо нагруженные детали, требующие максимальных значений σ_B и $\sigma_{0,2}$ при высокой пластичности. Заменитель литейных и деформируемых алюминиевых сплавов

2.43. Рекомендуемые методы литья магниевых сплавов

Сплав	Литье				
	в песчаные и оболочковые формы	в кокиль	под давлением	в гипсовые формы	по выплавляемым моделям
Мл2 Мл3	Мелкие и средние детали несложной конфигурации	Не рекомендуется из-за высокой склонности к образованию трещин	Не рекомендуется из-за высокой склонности к образованию трещин	Не рекомендуется (низкая прочность сплава)	Не рекомендуется (низкая прочность сплава)
Мл4 и Мл4п.ч.	Любые по конфигурации сложные детали	То же	То же	Можно применять	Можно применять
Мл5 Мл5п.ч.	То же	Любые по конфигурации сложные детали	Мелкие и средние детали средней сложности	Мелкие и средние детали любой сложности	Мелкие детали любой сложности
Мл5о.и.	То же	То же	То же	Не рекомендуется	Не рекомендуется

Сплав	Литье				
	в песчаные и оболочковые формы	в кокиль	под давлением	в гипсовые формы	по выплавляемым моделям
Мл6	Любые по конфигурации сложные детали	Любые по конфигурации сложные детали	Мелкие и средние детали средней сложности	Мелкие и средние детали любой сложности	Можно применять
Мл7-1	Детали средней сложности	Не рекомендуется из-за повышенной склонности к образованию горячих трещин	Не рекомендуется из-за повышенной склонности к образованию трещин	То же	Мелкие детали средней сложности
Мл8	Любые по конфигурации сложные детали	Детали средней сложности с применением песчаных или оболочковых стержней	Мелкие детали средней сложности	Мелкие и средние детали любой сложности	Мелкие детали любой сложности
Мл9	То же	Любые по конфигурации сложные детали	То же	То же	То же

Продолжение табл. 2.43

Сплав	Литье				
	в песчаные и оболочковые формы	в кокиль	под давлением	в гипсовые формы	по выплавляемым моделям
Мл10	Любые по конфигурации сложные детали	Любые по конфигурации сложные детали	Мелкие детали средней сложности	Мелкие и средние детали любой сложности	Мелкие детали любой сложности
Мл11	То же	Детали средней сложности	То же	То же	То же
Мл12	То же	Любые по конфигурации сложные детали с применением песчаных или оболочковых стержней	То же	То же	То же
Мл15	То же	Любые по конфигурации сложные детали	То же	То же	То же
ВМл6	То же	Любые по конфигурации сложные детали с применением песчаных или оболочковых стержней	То же	То же	То же

2.44. Влияние некоторых сред
на коррозионную стойкость магния и его сплавов

Среда	Концентрация в %	Влияние среды на магний и его сплавы
Неорганические среды		
Вода:		
дистиллированная 38° С	100	Не разрушает
» 90—100° С	100	Разрушает
водопроводная (сточная), морская	100	»
Кислоты:		
фтористоводородные	10—50	Не разрушают
хромовые (чистые)	Любая	» »
прочие минеральные (водные растворы)	До 100	Разрушают
Соли и гидроокислы:		
фтористые соли щелочных металлов	Любая	Не разрушают
фосфаты (большинство)	100	» »
карбонаты щелочных металлов	Любая	» »
хлориды	»	Разрушают
бромиды	»	»
иодиды	»	»
хроматы и бихроматы (хромовокислый и двухромовокислый калий)	»	Не разрушают
гидроокислы щелочных металлов (NaOH при 120° С)	До 40	» »
водные растворы сульфатов за исключением сернистого аммония	любая	» »
сернистый аммоний	Любая	Разрушают
Газы:		
аммиак	»	Не разрушают
двуокись и закись углерода	»	» »
хлор	100	Разрушают
фтор	100	Не разрушают
кислород	Любая	» »
Прочие элементы и соединения:		
сера в твердом расплавлении и газообразном состояниях	100	» »
сероуглерод	100	» »
ртуть	100	Разрушают
Органические среды		
Кислоты:		
уксусная, валериановая, винная, виннокаменная, молочная, стеариновая, пальмитиновые и др.	Любая	Разрушают
Спирты и гликоли:		
бутиловый	100	Не разрушают
метиловый	100	Разрушают
этиленгликоль и диэтиленгликоль	100	Не разрушают
Эфиры, альдегиды и кетоны:		
этиловый и уксусный эфир	100	» »
формальдегид	50	» »
Углеводороды:		
нефть, мазут, керосин, бензин, метан, этан, асфальт	100	» »
Ароматические соединения:		
каменноугольная смола, ее производные, бензол, толуол, ксилол, фенол, креазол, нафталин, лизол	100	» »
Жиры и масла, не содержащие кислот	100	» »
Азотистые соединения:		
водный раствор мочевины холодный	100	» »
» » » теплый	100	Разрушают
Углеводы:		
целлюлоза, сахар (бескислотный раствор)	100	Не разрушают

ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И РАСЧЕТ ШИХТЫ

1. ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В состав шихты для приготовления магниевых литейных сплавов входят материалы:

а) металлические: первичные металлы в чушках, первичные сплавы в чушках, возвраты и лигатуры;

б) неметаллические: легирующие добавки, вводимые в виде солей, флюсы, модификаторы, материалы для припыливания расплавленного металла при заливке его в изложницы.

Металлическая шихта

Классификация металлической шихты, применяемой для приготовления магниевых сплавов, приведена в табл. 2.45, марки магниевых сплавов в чушках — в табл. 2.46.

При приготовлении магниевых сплавов используют возвраты собственного производства (табл. 2.47).

Согласно принятой классификации жидкий сплав и сплавы в чушках подразделяют на первичные, предварительные, промежуточные и рабочие сплавы. Назначение, способ приготовления сплавов и исходные материалы приведены в табл. 2.48.

2.45. Металлическая шихта,
применяемая для приготовления магниевых сплавов

Наименование	Марка, сорт, состав	Приготовление сплавов	№ таблицы
1. Металлы первичные в чушках			
Алюминий	A99, A97, A95	Мл4п.ч. и Мл5п.ч.	1.6
	A85	Мл3, Мл4, Мл5, Мл6, Мл7—1	1.6
Индий	Ин1	Мл9	
Кадмий	Кд-2	Мл8	1.49
Кальций	—	Мл7-1	
Лантан	—	Мл15	
Магний	Мгп.ч. Мг 90	Мл4п.ч. и Мл5п.ч. Все магниевые сплавы	1.45
Марганец электролитический	Мр00 Мр0	Лигатуры Al—Mn, Al—Mg—Mn, Mg—Mn	1.50
Мишметалл (РЗМ)	—	Мл11	—
Цинк	Ц1 Ц2	Мл4п.ч. и Мл5п.ч. Мл3, Мл4, Мл5, Мл5о.и, Мл6, Мл7-1, Мл8, Мл10, Мл11, Мл12, Мл15	1.44

Продолжение табл. 2 45

Наименование	Марка, сорт, состав	Приготовление сплавов	№ таблицы
2. Сплавы первичные в чушках			
Магниево-марганцевые сплавы системы Mg—Mn	MM2	Мл2, Мл3, Мл4, Мл5, Мл5о.н., Мл6, Мл7-1. Допускается для сплава Мл5п.ч.	2.46
	МА3Ц	Мл3 и Мл7-1	
Магниево-алюминиевые сплавы системы Mg—Al—Zn	МА6Ц3	Мл4	2.46
	МА8Ц	Мл5 и Мл7-1	
	МА8Цч	Мл5п.ч.	
	МА8Цо	Мл5о.н.	
	МА10Ц1	Мл6	
Магниево-ниобиевые сплавы системы Mg—Nb	МЦр1Н3	Мл10	—
Сплав магний—лантан	—	Мл15	—
3. Сплавы предварительные в чушках			
Сплавы, приготовленные из свежих (первичных) металлов, или из возвратов и свежих металлов, или из одного возврата, применяются в чушках	—	Рабочие сплавы	2.60—2.62
4. Лигатуры			
Алюминий—бериллий	3—6% Be, Al — остальное	Мл3, Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5п.ч., Мл5о.н., Мл6, Мл7-1, Мл8, Мл12	—
Алюминий—магний—бериллий	3—5% Be, 30% Mg, Al остальное	То же	—
Алюминий—марганец	8—12% Mn, Al — остальное	Мл3, Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5п.ч., Мл5о.н., Мл6, Мл7-1	2.57
Алюминий—магний—марганец	10% Mn, 20% Mg, 70% Al	То же	—

Продолжение табл. 2.45

Наименование	Марка, сорт, состав	Приготовление сплавов	№ таблицы
Магний—марганец	2—3,5%—Mn, Mg — остальное	То же, и Мл2	—
Магний—неодим	—	Мл9, Мл10	2.52
Магний—цирконий	Л-2: 15—20% Zr, Mg — остальное	Мл8, Мл9, Мл10, Мл11, Мл12, Мл15, ВМл6	—

2.46. Химический состав магневых сплавов в чушках в % (ГОСТ 2581—71)

Сплав	Основные компоненты (Mg — остальное)				
	Al	Zn	Mn	Zr	Nd
MM2	—	—	1,5—2,2	—	—
МА3Ц	3—3,8	0,2—0,8	0,2—0,5	—	—
МА6Ц3	5,6—6,8	2,2—3,0	0,2—0,5	—	—
МА8Ц	7,5—8,7	0,3—0,8	0,2—0,5	—	—
МА8Цч	7,5—8,7	0,3—0,7	0,2—0,5	—	—
МА8Цон	7,5—8,7	0,3—0,7	0,2—0,5	—	—
МА10Ц1	8,8—10,0	0,7—1,1	0,2—0,5	—	—
МЦр1Н3	—	—	—	0,4—1,1	2,6—3,2
М85	≤12,0	≤5,0	≤1,0	—	—

Сплав	Примеси, не более						Всего регламентированных примесей
	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Cl	
MM2	0,05	0,07	0,03	0,005	0,04	0,005	0,2
МА3Ц	—	0,10	0,03	0,005	0,04	0,005	0,18
МА6Ц3	—	0,15	0,03	0,005	0,08	0,005	0,27
МА8Ц	—	0,10	0,03	0,005	0,05	0,005	0,19
МА8Цч	—	0,06	0,005	0,001	0,02	0,005	0,09
МА8Цон	—	0,20	0,05	0,01	0,15	0,005	0,41
МА10Ц1	—	0,15	0,05	0,005	0,05	0,005	0,26
МЦр1Н3	0,02	0,02	0,01	0,005	0,15	0,005	0,08
М85	—	0,3	—	—	0,4	—	—

2.47. Классификация возвратов

Сорт	Возврат	Применение
1	Бракованные отливки, крупные и мелкие чистые от загрязнений выпоры, чистые литники и коллекторы, чистые сливы — тигельные и ковшовые	Для промежуточного и рабочего сплава без переплава. Вводится в шихту в твердом или расплавленном виде (с предварительным расплавлением в тигле)

Продолжение табл. 2.47

Сорт	Возврат	Применение
II	Переplав мелких отходов, стояков, слесок, донные остатки из тиглей	Для промежуточного и рабочего сплавов промышленной чистоты после химического анализа, для ответственных отливок количество возвратов II сорта не более 30% от массы шихты, для сплавов Мл4п.ч. и Мл5п.ч. возвраты II сорта рекомендуется не применять
III	Переplав стружки, опилок, черных (грязных) сливов металла, извлеченного из шлака	Для промежуточного и рабочего сплава промышленной чистоты, если после химического анализа соответствует составу, требуемому ГОСТ или ТУ. Количество возвратов III сорта для ответственных отливок не более 10%, общее количество возвратов II и III сорта для ответственного литья не более 30%. При приготовлении рабочего сплава из 100% возвратов применение в шихте возвратов III сорта не допускается. Для сплавов Мл4п.ч. и Мл5п.ч. возвраты III сорта не применяются

2.48. Классификация сплавов, предназначенных для раздаточных печей или для заливки их непосредственно в формы

Сплав	Способ приготовления и назначение	Исходные материалы для приготовления сплава
Первичный	Чушки готовых стандартных сплавов, поставляемых заводами цветной металлургии	См. табл. 2.46
Предварительный	Приготавливают из свежих металлов, из возвратов или из одних возвратов. Применяют в виде чушек	1. Свежие металлы и лигатуры (табл. 2.45) 2. Возвраты I, II, III сортов (табл. 2.47)
Промежуточный	Приготавливают в плавильной печи для последующего перелива в раздаточные печи (с выемными или стационарными тиглями)	1. Свежие металлы и лигатуры, первичные или предварительные сплавы в количестве 20—40% 2. 60—80% возвратов II и III сорта в пределах указанных в табл. 2.47
Рабочий	Сплав в расплавленном состоянии в раздаточной печи (тигле) приготовлен для заливки непосредственно в формы	3. Допускается приготовление сплавов только из свежих металлов, только из возвратов или только из готовых (первичных или предварительных) сплавов. Промежуточный и рабочий сплавы, приготовленные из 100% возвратов, должны освещаться после двух оборотов первичным или предварительным сплавом

Неметаллические материалы

Основными неметаллическими материалами, применяемыми при плавке магниевых сплавов, являются:

- 1) легирующие добавки сплавов, вводимые в виде солей (табл. 2.49);
- 2) флюсы (табл. 2.50—2.52);
- 3) модификаторы (табл. 2.53).

2.49 Легирующие добавки, вводимые в сплавы в виде солей

Добавка	Формула	Характеристика	Назначение
Марганец хлористый	MnCl ₂	Плавится при температуре около 650° С	Для введения марганца в сплав Мл2
Фторберилат натрия	Na ₂ BeF ₄ + NaBeF ₃	Содержит ≥6,5% Be, разлагается при 730—750° С	Для введения бериллия в магниевые сплавы
Фторцирконат калия	K ₂ ZrF ₆	Содержит ≥32% Zr, разлагается при 850—900° С	При отсутствии металлической лигатуры MgZr для введения циркония в виде «шлаклизатуры»

Назначение флюсов. 1. Предупреждение окисления и возгорания твердой шихты в процессе расплавления.

2. Создание на поверхности жидкой металлической ванны сплошного флюсового покрова, изолирующего сплав от контакта с воздухом.

3. Удаление из сплава неметаллических включений (окислов и нитридов).

4. Предупреждение возможности попадания хлоридов в отливку.

Классификация флюсов. Для выполнения своего назначения в течение всей плавки флюсы должны обладать различными свойствами в зависимости от состава сплава и применяемых методов плавки.

В некоторых случаях невозможно применять один флюс на всех стадиях плавки, поэтому используют несколько флюсов. Классификация флюсов по их применению приведена в табл. 2.50.

Свойства флюсов. Флюсы должны обладать следующими свойствами:

а) иметь температуру плавления ниже температуры плавления сплава или чистого магния;

б) иметь достаточно высокую жидкотекучесть и поверхностное натяжение, чтобы обеспечить образование на поверхности металла сплошного флюсового покрова;

в) иметь плотность в расплавленном состоянии при 700—800° С несколько большую, чем плотность сплава при этих температурах, чтобы обеспечить оседание частиц флюса, находящегося во взвешенном состоянии в сплаве;

г) не должны взаимодействовать с магнием и с составляющими сплава, а также с кладкой отражательных печей;

2.50. Классификация флюсов

Группа	Наименование флюса	Назначение	Марка или название флюса (типовые)	Примечание
I	Единые (универсальные)	Применяют на всех стадиях плавки всех сплавов (или группы сплавов)	Ви2	Для плавки в стационарных, индукционных или отражательных печах
			Ви3	Для плавки в выемных тиглях
			ФЛ5-3, ФЛ5	Для плавки сплавов (типа Мл5) с алюминием
II	Рафинировочные	Применяют во время рафинирования сплавов	ФЛ5-3, ФЛ5	Для плавки сплавов (типа Мл5п.ч.) с алюминием повышенной чистоты
III	Покровные	Применяют после рафинирования во время выстаивания в тигле и во время разливки в формы	1. ФЛ1 2. 15% В ₂ O ₃ , 85% Na ₂ B ₄ O ₇	Для плавки сплавов (типа Мл5п.ч.) с алюминием повышенной чистоты
IV	Прочие	Для плавки сплавов с определенными составляющими, с которыми универсальные флюсы химически взаимодействуют	Флюсы для сплавов с литием, флюсы для сплавов с редкоземельными металлами	—
V	Вспомогательные флюсы и соли	Для промывки ковшей и другого плавильного инструмента	Карналит или флюс № 2	—

2.51. Химический состав флюсов,
применяемых при плавке магниевых сплавов, в %

Марка или название флюса	MgCl ₂	KCl	BaCl ₂	CaF ₂
Карналит	40	40+5	—	—
№ 2	40	34—40	6—9	—
Ви2	38—46	32—40	5—8	3—10
Ви3	34—40	25—36	—	15—20
ФЛ1	—	—	—	13
ФЛ5	25—42	20—36	4—8	0,5—10
Покровный	15B ₂ O ₃	85Na ₂ B ₄ O ₇	—	—
Для сплавов с литием	75—85 LiCl	25—15 LiF	—	—
> > системы Mg—Mn	—	23	2,5	2,5
	—	—	—	—

Марка или название флюса	MnCl ₂	MgO	NaCl+ CaCl ₂	Нерастворимый остаток	Влажность, не более, в %
Карналит	—	1,2	8	4	2
№ 2	—	1,5	8	1,5	2
Ви2	—	1,5	8	1,5	3
Ви3	—	7—10	8	1,5	3
ФЛ1	16 MnF ₂	40 AlF ₃ 32 MgF ₂	—	—	—
ФЛ5	1—8 MnF ₂	3—14 AlF ₃ 3—14 MgF ₂	9	—	3
Покровный	—	—	—	—	—
Для сплавов с литием	—	—	—	—	—
> > системы Mg—Mn	72	—	—	—	—
	76	11	13 CaCl ₂	—	—

2.52. Физические свойства солей, составляющих флюсы,
применяемых для магниевых сплавов и лигатур

Соли	t _{пл} в °C	t _{исп} в °C	ρ в г/см ³	t _{исп} в °C	μ в сП	t _{исп} в °C	σ в эрг/см ²
MgCl ₂	718	20	2,18	—	—	—	—
		742	1,668	751	4,69	733	135,8
		817	1,650	808	4,12	796	127,5
		—	—	852	3,69	846	121,2

Продолжение табл. 2.52

Соли	$t_{пл}$ в °С	$t_{исп}$ в °С	ρ в г/см ³	$t_{исп}$ в °С	μ в сП	$t_{исп}$ в °С	σ в эрг/см ²
NaCl	815	20 814 882	2,17 1,541 1,506	— 816 850	— 1,49 1,20	— 800 854	— 114,7 110,8
KCl	768	20 772 805 850 900	1,99 1,515 1,506 1,480 1,441	— 790 810 856 880	— 1,42 1,30 1,06 1,01	— 756 812 841 880	— 97,7 95,0 93,3 90,8
BaCl ₂	960	20 964	3,87 3,057	— —	— —	— —	— —
BaF ₂	1230	20	4,83	—	—	—	—
CaCl ₂	774	780	2,06	—	—	—	—
CaF ₂	1378	1380	2,528	—	—	—	—
LiCl	603	20	2,07	—	—	—	—
MgO	—	20	3,1	—	—	—	—
MgF ₂	1369	20	2,47	—	—	—	—
MnCl ₂	650	20	2,98	—	—	—	—
Mg	650	20 650 700	1,738 1,575 1,544	— — —	— — —	— 681 864	— 563 502
Сплав Мл5	430— 600	20 650 700 750	1,81 1,656 1,614 1,512	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —

2.53. Неметаллические модификаторы,
применяемые при плавке магниевых сплавов

Модификатор	Формула	Состав	Характеристика	Назначение
Магнезит	MgCO ₃	42—48% MgO, 49—51% CO ₂ (в основном) и другие летучие примеси, 0,8—0,9% SiO ₂ , 0,15—0,30% FeO, 0,5—2,6% CaO, до 2% прочих примесей	Просушить при 150—200° С до влажности не более 1%. Загружают кусками разме- ром 10—25 мм	Для модифици- рования сплавов Мл3, Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5п.ч., Мл5б.н., Мл6, Мл7-1
Мел	CaCO ₃	Марки А	Просушить при 150—200° С до влажности не более 1%. Измельчить и про- сеять через сито с ячей- ками 0,2— 0,5 мм	То же
Углекис- лый газ	CO ₂	—	Просушить до влажности не более 1%	То же
Гекса- хлорэтан	C ₂ Cl ₆	—	—	То же

д) должны обладать хорошей рафинирующей способностью, т. е. легко удалять из расплава неметаллические включения.

Помимо общих свойств, флюсы должны иметь также и некоторые специальные свойства применительно к используемому методу плавки.

Флюсы для плавки в стационарных тиглях (при которой применяют забор металла разливочными ковшами чайникового типа), кроме приведенных общих свойств, указанных выше, должны обладать достаточно высокой вязкостью, обеспечивающей отделение флюса от металла во время зачерпывания сплава ковшом и заливки форм. Для повышения вязкости добавляют в основу флюса сгустители. Наиболее широко для этой цели используют фтористые соли, например фтористый кальций.

Эти флюсы даже после выстаивания при 750—800° С должны образовывать достаточно эластичный покров без корки.

Флюсы для плавки в выемных тиглях должны обладать способностью образовывать относительно плотную корку, которую можно отодвинуть от носка к задней стенке тигля при заливке металла в форму.

Для образования плотной корки на флюсовый покров иногда насыпают соли-сгустители (фториды кальция или магния). Если при плавке и разливке металла из выемных тиглей применяют флюсы, не образующие плотной корки, то рекомендуют при заливке металла в форму придерживать флюсовый покров ложкой-счищалкой, чтобы предупредить попадание флюса в форму.

Флюсы покровные, применяемые при плавке металла в выемных тиглях, по возможности не должны содержать хлоридов.

Флюсы для промывки ковшей и плавильного инструмента должны обладать повышенной жидкотекучестью и хорошей рафинирующей способностью, а также не налипать на стенки ковшей.

Химический состав плавильных флюсов, применяемых для плавки магниевых сплавов, приведен в табл. 2.51. Физические свойства солей, составляющих флюсы, в сравнении со свойствами магния и сплава Мл5 даны в табл. 2.52.

Основные флюсы готовят в определенном порядке. Ниже приведен порядок приготовления некоторых флюсов.

Флюс Ви2. 1. Флюс № 2 размолоть в шаровой мельнице, просеять через сито с сеткой № 056, 045 или 040.

2. Фтористый кальций (флюоритовый концентрат) размолоть и просеять через сито № 056, 045 или 040.

3. Необходимое количество (из расчета шихты) размолотых материалов смешивать в шаровой мельнице или закрытом смесителе в течение 20—30 мин.

Флюс Ви3. 1. Плавленый карналит размолоть в шаровой мельнице и просеять через сито № 056, 045 и 040.

2. Размолоть фтористый кальций и просеять через сито № 056, 045 или 040.

3. Необходимое количество исходных материалов тщательно перемешать в шаровой мельнице или смесителе закрытого типа в течение 20—30 мин.

Флюс ФЛ5. 1. Размолоть флюс № 2 и просеять через сито № 056, 045 или 040.

2. Смешать порошкообразные флюсы № 2 и ФЛ1 в закрытом смесителе или шаровой мельнице в течение 20—30 мин.

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ШИХТЫ

Рекомендуемый шихтовой состав литейных магниевых сплавов с учетом среднего угара отдельных компонентов приведен в табл. 2.54. Ниже как типовой дан расчет шихты сплава Мл8.

Расчет шихты сплава Мл8. Шихтовый состав сплава: 6,1—6,2% Zn; 0,6—0,7% Cd; 0,001 % Be; на свежие металлы 2% Zr; на возвраты—1% Zr; Mg — остальное. Масса плавки 250 кг.

Плавку ведут из расчета 30% свежих металлов и 70% возвратов. Используют возвраты плавков:

1-й (6% Zn, 0,6% Cd) — 100,0 кг;

2-й (6,1% Zn, 0,29% Cd) — 50,0 кг;

3-й (5,2% Zn, 0,15% Cd) — 25,0 кг.

Свежих металлов потребуется 75 кг, в том числе:

а) цинка

на свежие материалы $\frac{6,2 \times 75}{100} = 4,65$ кг,

на возвраты плавки 1 $\frac{0,2 \times 100}{100} = 0,2$ кг,

на возвраты плавки 3 $\frac{1 \times 25}{100} = 0,25$ кг,

итого — 5,1 кг цинка;

2.54. Рекомендуемый расчетный состав шихты

Сплав	Основные компоненты в % (Mg — остальное)					Zr	
	Al ¹	Zn	Mn	Прочие	Be ⁴	на све- жие ма- териалы	на воз- враты
Мл2	—	—	2,0	—	—	—	—
Мл3	3	1,2	0,4	—	0,001	—	—
Мл4,	6	2,5	0,4	—	0,001	—	—
Мл4п.ч.					0,0015		
Мл5	8—8,7	0,5	0,4	—	0,001	—	—
					0,0015		
Мл5п.ч.	8—8,7	0,5	0,5	—	0,001	—	—
Мл5о.и.	8—8,7	0,5	0,5	—	0,0015	—	—
Мл6	9,6	0,9	0,3	—	0,001	—	—
					0,0015		
Мл7-1	6	0,5	0,5	0,5 Ca ²	0,001	—	—
					0,0015		
Мл8	—	6,1—	—	0,6 Cd	0,001	1,8—2	1—
		6,2					1,2
Мл9	—	—	—	0,5 In	0,001	1,5	0,7—
				2,4 Nd ³			1
Мл10	—	0,5	—	2,6 Nd ³	0,001	1,5	0,7—
							1
Мл11	—	0,5	—	3,5 ∑ PЗМ	0,001	1,5	0,7—
							1
Мл12	—	4,5	—	—	0,001	1,8—2	1—
							1,2
Мл15	2	4,5	—	0,9 La	—	1,8—2	1—
							1,2

¹ Содержание алюминия в сплаве Мл5 рекомендуется принимать для тонкостенного литья по верхнему пределу, для толстостенного — по нижнему.

² При приготовлении сплава Мл7-1 следует учитывать потерю кальция при переплавке. Добавка кальция производится из расчета 0,4—0,5% на предварительный сплав и 0,3% на возврат.

³ Для компенсации потерь редкоземельных металлов при переплаве возврата следует подшихтовывать 10% неодима в сплавах Мл9 и Мл10, 15% мишметалла в сплаве Мл11 и 15% лантана в сплаве Мл15 (от расчетного количества).

⁴ Бериллий вводится для снижения окисляемости, если его присадка оговаривается в методике плавки данного сплава.

б) кадмия

на свежие материалы $\frac{0,6 \times 75}{100} = 0,45$ кг,

на возвраты плавов 2, 3 $\frac{0,4 \times 75}{100} = 0,3$ кг,

итого — 0,75 кг кадмия;

в) лигатуры Mg—Zr (с содержанием 18,7% Zr)

на свежие материалы $\frac{2 \times 100}{18,7} \cdot \frac{75}{100} = 8,02$ кг,

на возвраты $\frac{100}{18,7} \cdot \frac{175}{100} = 9,3$ кг,

итого — 17,32 кг \approx 17,3 кг лигатуры Mg—Zr;
г) лигатуры Al—Be (с содержанием 5% Be)

$$\frac{0,001}{100} \cdot \frac{100}{5} \times 250 = 0,050 \text{ кг;}$$

д) магния

$$75 - (5,1 + 0,75 + 17,3 + 0,05) = 51,8 \text{ кг.}$$

Итого состав шихты в кг:

магния	51,8
цинка	5,1
кадмия	0,75
лигатуры Mg—Zr	17,3
лигатуры Al—Be	0,05
возвраты плавок	1 100,0
»	» 2 50,0
»	» 3 25,0

всего: 250

ПЛАВКА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В зависимости от масштабов производства применяют методы плавки: 1) в стационарных тиглях, 2) в выемных тиглях (табл. 2.55) и 3) комбинированным способом.

Некоторой разновидностью комбинированного метода плавки является непрерывный процесс плавки рабочего сплава в блоке печей со стационарными литыми тиглями. Минимальное число печей в блоке 3.

Печь № 1 — скрапная для расплавления возвратов собственного производства. После рафинирования жидкий сплав из печи № 1 переливается в печь № 2.

2.55. Схема технологического процесса и оборудование

Расплавление	Обработка сплава (модифицирование и рафинирование)	Способ разливки сплава	Область применения
В стационарных стальных литых тиглях емкостью до 500 кг (см. рис. 2.20)		Ковшами чайникового типа емкостью до 20 кг (см. рис. 2.21)	Мелкие и средние отливки, получаемые в песчаных формах и кокнях, при больших масштабах производства. Максимальная масса жидкого сплава, заливаемого в форму, не более 80 кг
В выемных стальных сварных тиглях емкостью до 350 кг (см. рис. 2.22)		Из тех же тиглей, в которых производилась плавка и обработка сплава	Мелкие и средние отливки при малых масштабах производства, а также небольшие партии крупных отливок
В отражательных печах емкостью до 3 т или в индукционных печах промышленной частоты со стальным тиглем емкостью до 2 т (см. рис. 2.27)	В выемных стальных сварных тиглях или в стальных литых стационарных тиглях	Сплав из плавильной печи переливается в раздаточную (в выемные или стационарные тигли): а) через легкую самотеком; б) с помощью сифонного приспособления. Выемные тигли подают к формам с помощью крана или тельфера. Из выемных тиглей сплав разливают по формам сифонным приспособлением; из стационарных тиглей — ковшами чайникового типа	Отливки любого размера при больших масштабах производства

Печь № 2 — раздаточная, в ней готовят рабочий сплав для заливки в формы.

В тигле печи № 3 находится расплавленный флюс для промывки разливочных ковшей и приспособлений.

Практически по условиям плавки в блоке может быть до трех—пяти скрапных печей, двух-трех раздаточных и один флюсовый тигель.

1. ПЕЧИ

В зависимости от способа получения тепловой энергии печи для плавки магниевых сплавов подразделяют на пламенные (топливные) и электрические.

В качестве топлива для пламенных печей применяют жидкое или газообразное топливо.

По конструктивному признаку пламенные печи разделяют на тигельные и ванны (отражательные).

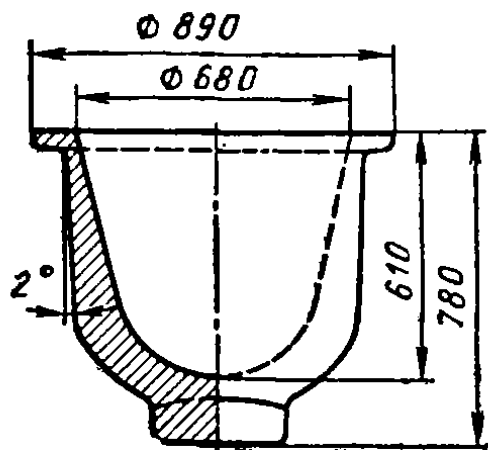


Рис. 2.20 Литой стальной стационарный тигель для плавки магниевых сплавов емкостью 250 кг

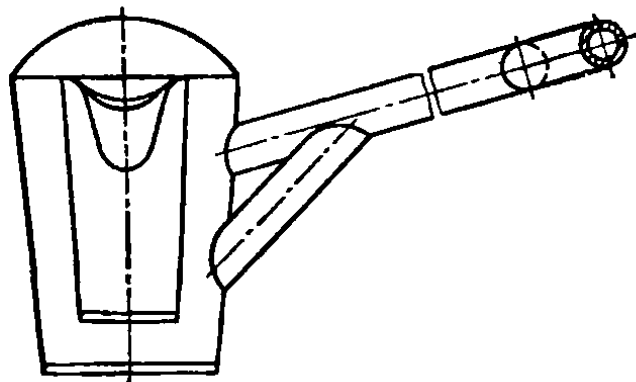


Рис. 2.21. Ковш для разливки магниевых сплавов

Электрические печи в зависимости от способа превращения электрической энергии в тепловую подразделяются на печи сопротивления с выемным тиглем или отражательного типа и индукционные.

Пламенные тигельные печи. Наиболее распространенными печами этого типа являются печи с нефтяным (мазутным) или газовым обогревом со стационарными литыми или выемными сварными стальными тиглями.

Стационарные литые тигли изготовляют из низкоуглеродистой стали марок 15Л, 25Л и др. Тигли не рекомендуется изготовлять из сталей, содержащих никель, являющийся вредной примесью для магниевых сплавов.

Для метода плавки с разливкой сплава ковшами применяют литые тигли емкостью до 500 кг магниевого сплава. На практике широко применяют тигли емкостью 200—350 кг (рис. 2.20).

Для разливки сплава из стационарных тиглей в формы используют ковши чайникового типа емкостью 6—20 кг (рис. 2.21). Внутри ковша находится трубка на расстоянии 20—30 мм от дна, по которой сплав поступает в нижнюю часть носка, в результате окислы, шлаки и флюсы, находящиеся на дне ковша, не могут попасть при заливке в форму.

Сварные выемные тигли изготовляют из листовой стали Ст. 2—Ст. 3 со стенками толщиной 8—15 мм. Днище тигля выполняют штамповкой с таким расчетом, чтобы сварной кольцевой шов работал на растяжение. Толщина днища 15—25 мм.

Емкость сварных тиглей обычно составляет 30—350 кг.

В зависимости от марки магниевого сплава и метода плавки тигли изготовляют без внутренней перегородки (рис. 2.22, а) и с внутренней перегородкой чайникового типа (рис. 2.22, б).

Плавку большого количества магниевого сплава можно осуществлять в печах с газовым обогревом (рис. 2.23). В этих печах применяют стальные литые тигли емкостью 1—2 т (рис. 2.24).

Масса тигля 6 т, толщина стенки 70 мм.

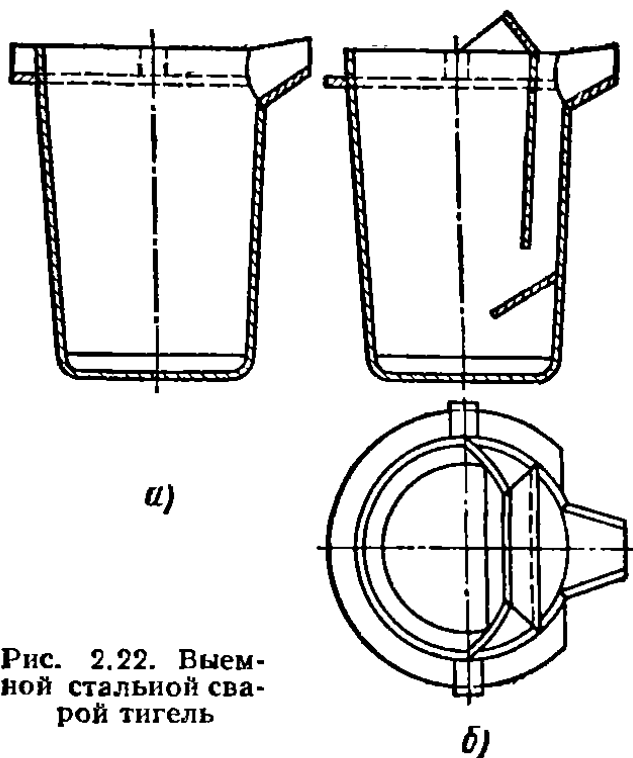


Рис. 2.22. Выемной стальной сварной тигель

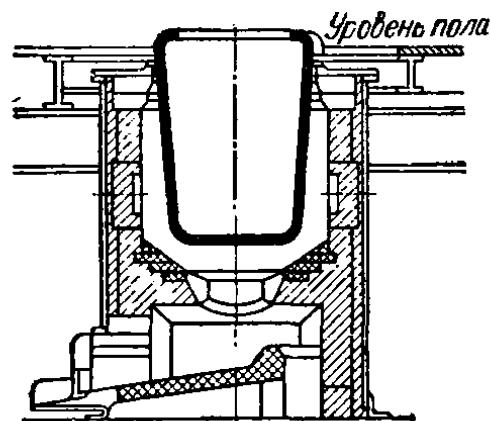


Рис. 2.23. Газовая печь для плавки магниевых сплавов с тиглем емкостью 2 т

Сплав из подобных тиглей разливают с помощью специальных приспособлений в выемные тигли.

Пламенные отражательные печи. Для предварительного наплавления сплава применяют отражательные печи с газовым или нефтяным обогревом.

Футеровка подины печи не должна вступать во взаимодействие с расплавленным магниевым сплавом и флюсом.

С этой целью подину изготовляют из магнезитового кирпича, обладающего наибольшей стойкостью против разъедающего действия флюсов и шлаков и не взаимодействующего с жидким магнием.

Нижнюю часть отражательной печи выполняют многослойной: красный или белый кирпич, затем теплоизоляционный материал и в качестве футеровки подины магнезитовый кирпич.

Емкость отражательных печей для магниевых сплавов 1,5—3 т.

Печи могут быть поворотного (рис. 2.25) или стационарного типа.

Жидкий сплав (после рафинирования и модифицирования) разливают в выемные тигли из печи поворотного типа при наклоне печи по желобу, а из стационарной печи — с помощью разливочного приспособления.

Электрические печи сопротивления. Печи сопротивления применяют для плавки магниевых сплавов в выемных тиглях. Конструкция печи должна предусматривать изоляцию спиралей от контакта с газообразными продуктами разложения плавильных флюсов (рис. 2.26).

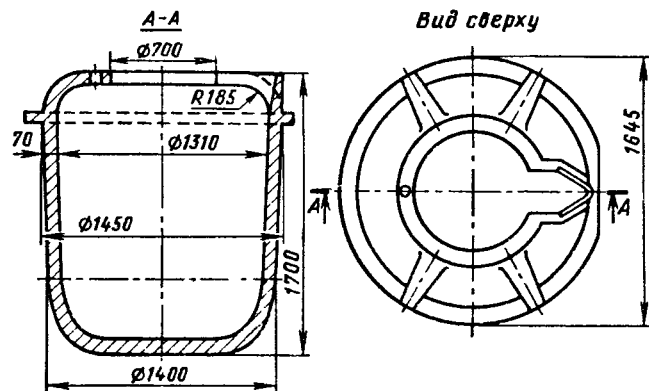


Рис. 2.24. Литейный тигель емкостью 2 т для магниевых сплавов

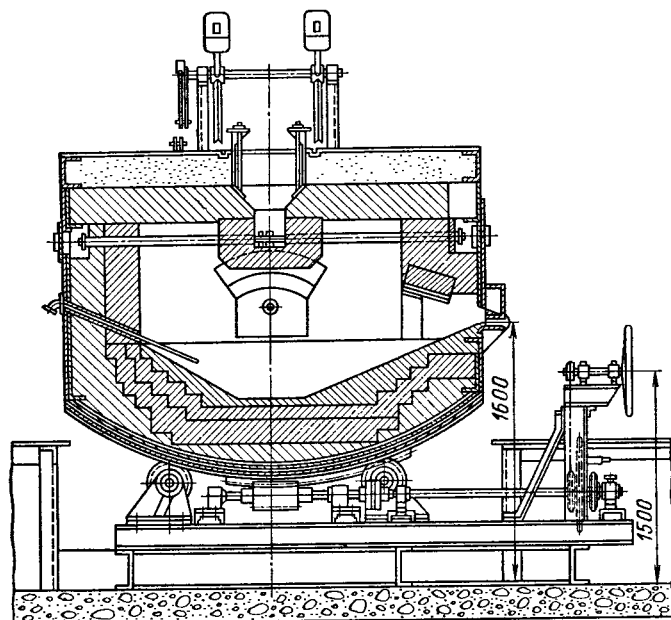


Рис. 2.25. Отражательная газовая печь поворотного типа для плавки магниевых сплавов

Рис. 2.26. Печь сопротивления для плавки магниевых сплавов

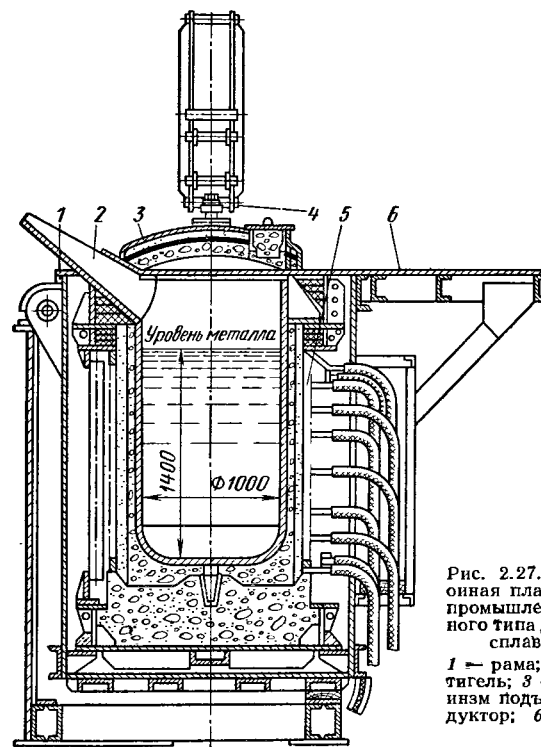
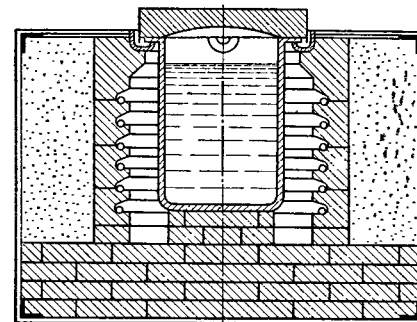


Рис. 2.27. Тигельная индукционная плавильная печь ИГТ 1,6 промышленной частоты поворотного типа для плавки магниевых сплавов емкостью 1,6 т:

1 — рама; 2 — металлический тигель; 3 — крышка; 4 — механизм подъема крышки; 5 — индуктор; 6 — рабочая площадка

По этой причине не находят широкого применения отражательные печи сопротивления, так как трудно изолировать спирали сопротивления (они часто выходят из строя).

Индукционные печи. Для предварительного наплавления сплава используют индукционные тигельные печи промышленной частоты (рис. 2.27).

Положительные особенности этих печей: высокая производительность, малый угар металла, возможность плавки в специальной газовой среде.

Индукционная тигельная печь без сердечника представляет собой воздушный трансформатор, первичной обмоткой которого является медный индуктор, а вторичной — шихта, загруженная в металлический (стальной) тигель.

Для печей промышленной частоты необходима конденсаторная батарея, компенсирующая малую величину коэффициента мощности $\cos \varphi_n$ (0,05—0,25), обусловленную отсутствием магнитопровода и, следовательно, большим магнитным рассеянием.

В табл. 2.56 приведены основные технико-экономические показатели работы печей различного типа для магниевых сплавов.

По основным показателям индукционные и отражательные печи значительно превышают тигельные: к. п. д. отражательной печи в 2 раза, а индукционной печи в 6—8 раз выше к. п. д. тигельной.

Производительность отражательной печи в 3 раза, а индукционной в 3—8 раз выше производительности тигельных печей.

2.56. Основные технико-экономические показатели плавильных печей для магниевых сплавов

Параметры	Печи			
	тигельные (газовые или неф- тяные)	отража- тельные	индукционные	
Емкость тигля в кг	350	1500	350	1600
Продолжительность плавки в мин:				
в горячей печи	120—180	180—240	60—80	90—100
» холодной печи	200—250	250—350	90—110	—
Общий к. п. д. печи	0,1—0,15	0,25—0,3	0,8—0,85	0,85
Производительность печи в кг/ч	120	400	300	1000
Угар и безвозвратные потери в %	2,5—3,5	4—6	2—3	2—3
Расход флюса в %	3—5	3—5	3—5	3—5
Расход газа в м ³ /кг на 1 т жидкого сплава	2	0,56—0,78	—	—
Расход электроэнергии в кВт·ч/кг	—	—	0,4—0,6	0,57
Мощность печи в кВт:				
максимальная (расчет- ная)	—	—	107	550
средняя	—	—	85	—
Напряжение печи в В	—	—	380	1160
Частота тока в Гц/с	—	—	50	50
Средняя сила тока в сети в А	—	—	260	—
Мощность конденсаторной ба- тареи в кВА	—	—	420	—

2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЛИГАТУР

При приготовлении магниевых сплавов наряду с первичными материалами, готовыми сплавами используют и лигатуры.

Многие лигатуры поставляют в готовом виде заводы цветной металлургии, как, например, лигатуры Al—Be, Mg—Nd, Mg—Zr.

В табл. 2.57—2.62 приведена методика приготовления лигатур Al—Mn и Al—Mg—Mn, сплавов Mg—Mn, Mg—Al—Zn и сплавов, содержащих цирконий.

2.57. Методика приготовления лигатур Al—Mn и Al—Mg—Mn

Лигатура	Состав	Температура в °C		Методика приготовления
		плав- ления	разливки	
Al—Mn	8—12% Mn, Al — осталь- ное	780—800	840—880	<ol style="list-style-type: none"> 1. Осмотреть графитовый тигель или отражательную печь. 2. Загрузить алюминий в тигель или отражательную печь и нагреть до 900—1000° C. Снять шлак. 3. Измельченный до величины горошины и нагретый до 800—900° C марганец по частям ввести в расплавленный алюминий. 4. Тщательно перемешать сплав окрашенной ложкой или ломиком. 5. Отрафинировать сплав обезвоженным хлористым цинком (0,05—0,1% ZnCl₂ от массы шихты). 6. Снять шлак и разлить лигатуру в изложницы, подогретые до 120—200° C
Al—Mg— Mn	20% Mg, 10% Mn, Al — осталь- ное	550—600	650—700	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выполнить операции 1—5 из методики приготовления лигатуры Al—Mn. 2. Ввести подогретый до 120—300° C магний согласно расчету; при плавке в отражательных печах — всю навеску сразу, при плавке в тигелях — половнну. Вводить магний с применением флюса Вн2. Вынуть тигель из горна, установить на носилки и ввести вторую половнну навески магния. 3. Тщательно перемешать сплав ложкой, после кратковременного отстаивания снять шлак и разлить лигатуру по изложницам

3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СПЛАВОВ

2.58. Приготовление предварительных и промежуточных сплавов систем Mg—Mn и Mg—Al—Zn в индукционных печах

Операции	Содержание операций
1. Подготовка тигля к плавке	<p>Стационарные тигли очистить от остатков металла и флюса и подвергнуть контролю. Периодический контроль тигля производят через каждые 48—72 ч работы. При обнаружении значительного общего или местного утончения стенок и дна тигля очередной контроль производят через каждые 24 ч непрерывной работы. Сварные тигли перед началом плавки подвергают отмочке. Тигли емкостью до 70 кг можно очищать в горячем состоянии счищалкамн. Очищенный тигель подвергают контролю. Исправный тигель устанавливают в печи (горн)</p>
2. Подогрев тигля	<p>Нагреть тигель до темно-красного каления (~500° С)</p>
3. Загрузка флюса в тигель	<p>Присыпать стенки и дно тигля порошкообразным флюсом ФЛ5 или Вн2 при приготовлении сплавов промышленной чистоты и флюсом ФЛ5 при приготовлении сплавов повышенной чистоты из расчета 0,1—0,25% от массы шихты. При плавке сплавов промышленной чистоты в выемных тиглях можно употреблять флюс Вн3</p>
4. Загрузка шихты в печь	<p>Шихту загружают без подогрева в тигель (без жидкого металла). Последующие порции твердой шихты загружают после ее подогрева до температуры не ниже 120° С. Порядок загрузки шихты при приготовлении предварительного сплава: возвраты, магний, лигатура алюминий—марганец, алюминий; при приготовлении промежуточного сплава: если шихта состоит из возвратов и предварительных (первичных) сплавов, то сначала загружают возвраты</p>
5. Расплавление металла	<p>1. Присыпать загруженную шихту порошкообразным флюсом</p>
6. Введение в расплав легирующих добавок	<p>2. Расплавить шихту и довести температуру для сплава Мл2 до 760—780° С, сплавов Мл3, Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5п.ч., Мл5о.н., Мл6 и Мл7-1 — до 700—720° С</p>
7. Рафинирование	<p>1. Ввести в сплавы Мл3, Мл4, Мл5, Мл5п.ч., Мл5о.н., Мл6, Мл7-1 металлический цинк, подогретый до 120° С, и лигатуру Al—Mn или Mg—Al—Mn</p>
8. Отбор пробы	<p>При температуре 700—720° С произвести рафинирование согласно табл. 2.63 (при введении в сплав бериллия в виде фторбериллата натрия температура рафинирования повышается до 730—750° С)</p>
10. Выстаивание сплава	<p>При плавке предварительного сплава взять пробу на спектральный или химический анализ. При плавке промежуточного сплава взять пробу на спектральный экспресс-анализ</p>
14. Разливка сплава	<p>Дать сплаву отстояться в течение не менее 15 мин при 720—740° С. В индукционных печах температура сплава при отстаивании может достигать 760° С</p>
	<p>При 650—740° С разлить предварительный сплав в изложницы, подогретые до температуры не менее 120° С. Промежуточный сплав перелить в подготовленные и подогретые тигли раздаточных печей (разливочными ковшами или непосредственно из тигля, или закрытым способом с помощью насоса или сифонного приспособления)</p>

2.59. Приготовление предварительных и промежуточных сплавов систем Mg—Mn и Mg—Al—Zn в отражательных печах

Операции	Содержание операций
1. Подогрев печи	Печь, очищенную от предыдущей плавки, нагреть до температуры 750—850° С
2. Загрузка флюса для промывки пода	Загрузить флюс типа ФЛ5 или Вн2 при приготовлении сплавов промышленной чистоты и типа ФЛ5 при приготовлении сплавов повышенной чистоты (0,3—0,5% от массы шихты)
3. Подогрев шихты	Подогреть шихту до температуры не менее 120° С на форкамере печи. Допускается загружать шихту в печь без подогрева, если в ней нет расплавленного металла или флюса
4. Загрузка основной части шихты	Шихту загружают в следующем порядке: возвраты, магний, лигатура Al—Mn, алюминий (при загрузке шихты в два приема вторую часть загружают после расплавления первой)
5. Загрузка флюса	Присыпать флюсом в количестве 2—3% от массы шихты
6. Расплавление шихты	<ol style="list-style-type: none"> 1. После включения всех горелок начать плавку, наблюдая за ее ходом через смотровое окно 2. При загорании металла очаги горения тушить флюсом 3. Довести температуру при приготовлении сплава Мл2 до 750—780° С и при приготовлении сплавов, легированных алюминием, до 690—720° С
7. Введение в сплав остальных легирующих добавок	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ввести в сплав Мл2 лигатуру Mg—Mn, металлический марганец или хлористый марганец 2. При плавке остальных сплавов ввести металлический цинк и лигатуру Al—Be (или лигатуру Al—Mg—Be) 3. После введения добавок очистить поверхность расплава от загрязнений и присыпать свежим флюсом
8. Рафинирование	Провести рафинирование (табл. 2.63) при 700—720° С, после чего очистить поверхность сплава и присыпать свежим флюсом
9. Отбор пробы	Взять пробу на спектральный экспресс-анализ
10. Выстаивание сплава	Дать сплаву отстояться при 720—740° С в течение не менее 15 мин
11. Разливка сплава	После получения анализа через летку стационарной печи или наклоном поворотной печи разлить предварительный сплав в подогретые до температуры не менее 120° С изложницы, промежуточный сплав — в выемные тигли, подогретые до ~500° С
12. Очистка печи	Удалить из печи оставшийся сплав и очистить ее от флюса и шлака

4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ СПЛАВОВ

2.60. Приготовление рабочих сплавов систем
Mg—Mn и Mg—Al—Zn в стационарных стальных литых тиглях

Операции	Содержание операций
1. Подготовка тиглей к плавке	Очистить и подвергнуть тигель контролю
2. Подогрев тиглей	Подогреть тигли до темно-красного калення
3. Загрузка флюса в промывной тигель № 3	Загрузить в тигель флюс № 2 или Вн2 в количестве примерно 90% емкости тигля
4. Загрузка флюса в скрапной тигель № 1	Присыпать стенки и дно тигля флюсом Вн2 или типа ФЛ5 в количестве 0,1—0,25%
5. Загрузка шихты в скрапной тигель № 1	Загрузить в скрапной тигель предварительно подогретые возвраты
6. Расплавление флюса в промывном тигле № 3	Загруженную шихту присыпать флюсом в количестве 0,5—1,5% от массы шихты
7. Расплавление шихты в скрапном тигле № 1	Расплавить флюс и довести его до температуры 750—850° С
8. Рафинирование металла в скрапном тигле № 1	Расплавить шихту и довести ее до температуры 680—720° С
9. Загрузка флюса в раздаточную печь № 2	1. Снять подогретой ложкой загрязнения с поверхности сплава и присыпать свежим флюсом (согласно табл. 2.50)
10. Перелив жидкого сплава в раздаточную печь № 2	2. Рафинировать в течение 3—5 мин
11. Догрузка шихтой скрапной печи № 1	3. Снять с поверхности расплава шлак и присыпать флюсом
12. Загрузка твердой шихты в раздаточную печь № 2	Присыпать стенки и дно тигля флюсом Вн2 или типа ФЛ5 в количестве 0,1—0,25% от массы шихты
13. Модифицирование	Наполнить тигель (примерно на 2/3 его емкости) раздаточной печи № 2 жидким сплавом из печи № 1
14. Рафинирование	Загрузить в печь предварительно подогретые возвраты, затем повторить операции 7 и 8
15. Отбор пробы на структуру излома и на химический анализ	1. Догрузить раздаточную печь подогретыми чушками первичных или предварительных сплавов
16. Введение кальция при плавке сплава Мл7-1	2. Расплавить шихту и довести ее до температуры 700—730° С, если требуется ввести бериллий
17. Подогрев сплава	Модифицировать сплавы, содержащие алюминий, при температуре 700—730° С (табл. 2.63)
	Провести рафинирование (согласно табл. 2.64)
	Удалить с поверхности шлак, взять технологическую пробу и пробу для спектрального и химического анализов, присыпать поверхность свежим флюсом. При несоответствии излома технологической пробы повторить операции модифицирования и рафинирования
	После взятия пробы сплав присыпать свежим флюсом, довести температуру его до 760—780° С, ввести навеску кальция и отлить вторую пробу для химического и спектрального анализов
	Довести температуру сплава до технологически необходимой (не ниже 780° С)

Продолжение табл. 2.60

Операции	Содержание операций
18. Выстаивание сплава 19. Разливка сплава по формам	Дать сплаву отстояться при наиболее высокой температуре не менее 15 мин (но не более 30 мин) в зависимости от глубины ванны Разливку сплава производят с помощью приспособлений по трубам или ковшами (табл. 2.77)

Примечания: 1. Не реже чем через 48 ч работы, но не более чем через 20 плавов (сплавов) вычерпать весь флюс из тигля и заменить его новым.
 2. Если плавку производят без скрапного тигля, то операции 4, 5, 7, 8, 10, 11 не делают.

2.61. Приготовление рабочих сплавов систем Mg—Mn и Mg—Al—Zn в выемных тиглях

Операции	Содержание операций
1. Подготовка тигля 2. Подогрев тигля 3. » шихты 4. Загрузка флюса в тигель .. 5. Загрузка шихты в печь 6. Расплавление шихты 7. Введение бериллия 8. Модифицирование 9. Рафинирование 10. Отбор проб 11. Введение кальция при плавке сплава Мл7-1 12. Подогрев и выстаивание сплава 13. Разливка сплава	Очищенный и проверенный (см. табл. 2.60) тигель установить в печь Нагреть тигель до ~ 500° С » шихту до температуры не ниже 120° С Припылить стенки и дно выемного тигля флюсом Вн3 или типа ФЛ5 при плавке сплавов промышленной чистоты, Вн2 при плавке сплавов промышленной чистоты в тиглях чайничкового типа, ФЛ5 при плавке сплавов повышенной чистоты. (Количество флюса 0,1 = 0,25% от массы шихты) Загрузить подогретую твердую шихту в печь или перелить в тигель расплавленный промежуточный сплав из отражательной или индукционной печи. Загруженную шихту присыпать флюсом Расплавить шихту и довести сплав до температуры 700—730° С (или подогреть жидкую шихту до указанной температуры) Ввести лигатуру Al—Be или Al—Mg—Be при 730° С, если это необходимо Модифицировать сплав (табл. 2.64) Провести рафинирование сплава флюсом Вн2, Вн3 и ФЛ5 (табл. 2.63) 1. Взять технологическую пробу и пробу на спектральный или химический анализы. 2. При несоответствии излома пробы установленному эталону повторить операции 8, 9 Ввести навеску кальция при 760—780° С и отлить повторную пробу для спектрального (химического) анализа Довести температуру сплава до технологически требуемой (не ниже 780° С) и дать отстояться в течение 15—30 мин Разлить сплав с помощью приспособлений или непосредственно из тигля (см. табл. 2.77)

2.62. Приготовление рабочих сплавов,
содержащих цирконий, в тигельных печах

Операции	Содержание операций
1. Подготовка тигля	Плавку производят в предварительно очищенных от остатков флюса и сплава стационарных или выемных тиглях (табл. 2.60)
2. Подогрев тигля	Нагреть тигель до $\sim 500^{\circ}\text{C}$
3. Загрузка флюса	Присыпать дно и стенки тигля флюсом Вн2 в количестве 0,1—0,25% от массы шихты
4. » шихты	Шихту загружают в твердом виде в следующем порядке: при применении шихты только из свежих металлов — магнии, готовый сплав Мл10; при применении возвратов — возвраты, магнии, готовый сплав Мл10. Загрузка в расплавленный металл твердой шихты допускается только в подогретом состоянии до температуры не ниже 120°C
5. Расплавление металла	Твердую шихту присыпать флюсом, включить печь и довести температуру металла до $700\text{—}720^{\circ}\text{C}$ (или подогреть жидкую шихту до указанной температуры)
6. Введение в сплав цинка, кадмия, индия и бериллия	1. Очистить поверхность от загрязнений и ввести в сплав: металлический цинк для сплавов Мл8, Мл10, Мл11, Мл12, Мл15; кадмий для сплава Мл8, индий для сплава Мл9, растворив их на ложке 2. Снять с поверхности загрязнения и ввести бериллий (если это необходимо)
7. Рафинирование	При температуре $720\text{—}740^{\circ}\text{C}$ рафинировать сплав в течение 3—5 мин с добавлением флюса (1—2% от массы шихты)
8. Введение в сплав лигатуры Mg—Nd, мишметалла, лантана, лигатуры Mg=Zr	1. Довести температуру сплава до 780°C и ввести на ложке лигатуру Mg—Nd в сплав Мл10, мишметалл в сплав Мл11, лантан в сплав Мл15 2. При температуре $780\text{—}810^{\circ}\text{C}$ снять с поверхности сплава загрязненный флюс, присыпать поверхность свежим флюсом, а затем загрузить по частям лигатуру Mg=Zr. Лигатура должна быть предварительно подогрета до температуры не ниже 120°C (рекомендуется подогреть ее до $300\text{—}500^{\circ}\text{C}$). При введении лигатуры не допускать снижения температуры ниже 760°C (рекомендуется не снижать температуру расплава ниже 780°C). Последующие порции лигатуры вводят после растворения предыдущей
9. Рафинирование и отбор проб	1. Провести интенсивное перемешивание сплава в течение 5—7 мин, присыпая поверхность флюсом 2. Взять технологическую пробу на излом 3. Провести рафинирование сплава (табл. 2.63) в течение 5—8 мин 4. Выдержать сплав при температуре $780\text{—}800^{\circ}\text{C}$ в течение 5—10 мин и взять пробы на излом и спектральный анализ 5. В случае неудовлетворительной пробы на излом произвести подшихтовку расплава 1—2% лигатуры Mg=Zr, провести повторное рафинирование в течение 5—8 мин и вновь взять технологическую пробу
10. Отстаивание	Произвести отстаивание сплава в течение 20—30 мин при температуре $780\text{—}800^{\circ}\text{C}$

Продолжение табл. 2.62

Операции	Содержание операций
11. Разливка сплава	<p>При удовлетворительных результатах пробы на излом довести температуру сплава до технологически необходимой и произвести разливку сплава</p> <p>Примечание. Общий расход флюса при плавке и рафинировании 5—7%.</p>

5. РАФИНИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Рафинирование от неметаллических примесей. Целью рафинирования является удаление из сплава твердых включений окислов и нитридов. Рафинирование обеспечивается, если флюс смачивает включения лучше, чем металл, т. е. когда краевой угол смачивания на поверхности раздела окись — металл $> 90^\circ$, а на поверхности раздела окись — флюс близок к 0. Необходимо определенное время отстаивания сплава после рафинирования (табл. 2.63).

2.63. Рафинирование магниевых сплавов

Операция	Содержание операций
<p>1. Подготовка сплава к рафинированию</p> <p>2. Рафинирование сплавов системы Mg—Al—Zn и Mg—Mn</p> <p>3. Рафинирование сплавов, легированных цирконием</p>	<p>Снять подогретой ложкой загрязнения с поверхности сплава и присыпать свежим флюсом:</p> <p>а) Вн2 или ФЛ5 при плавке системы Mg—Al—Zn промышленной чистоты, Mg—Mn, Mg—Zr (возможно применение флюса Вн3 при плавке в выемных тиглях);</p> <p>б) ФЛ5 при плавке сплавов Мл4, Мл5 повышенной чистоты</p> <p>Интенсивно перемешать сплав</p> <p>1. Замешивать флюс движением мешалки сверху вниз, далее понизу вперед от себя, затем снизу вверх и поверху к себе</p> <p>2. Продолжительность рафинирования сплавов системы Mg—Al—Zn промышленной чистоты при 720—740° С 3—5 мин, сплавов повышенной чистоты при 740—780° С—3—5 мин</p> <p>3. После рафинирования снять загрязнения и покрыть зеркало сплава свежим флюсом</p> <p>1. Рафинировать сплав флюсом Вн2 после введения легирующих добавок (кроме легатуры Mg—Zr) при 720—740° С в течение 3—5 мин</p> <p>2. После введения легатуры Mg—Zr при 780—800° С интенсивно перемешать сплав со дна тигля в течение 5—7 мин с целью полного растворения легатуры</p> <p>3. После перемешивания со дна провести интенсивное рафинирование, как указано выше, в течение 5—8 мин при 780—800° С</p> <p>4. После рафинирования снять загрязнения и покрыть поверхность свежим флюсом</p>

Рафинирование от металлических включений. В сплавах системы Mg—Al—Zn осаждают железо с помощью марганца (в виде лигатуры Al—Mn или хлористого марганца). Сплав выдерживают при температуре порядка 700° С в течение 30—60 мин, при этом железо вместе с избыточной марганцовистой фазой оседает на дно тигля. В магниевых сплавах, легированных цирконием, осаждение железа, кремния и алюминия осуществляется при введении циркония. Образующиеся соединения этих элементов с цирконием оседают на дно тигля.

Модифицирование. Целью модифицирования является измельчение структуры сплавов. Модифицирование сплавов системы Mg—Al—Zn возможно: 1) перегревом или 2) обработкой углеродсодержащими веществами.

Механизм модифицирования при обработке перегревом заключается в образовании субмикроскопических соединений алюминия с железом (или марганцем), являющихся центрами кристаллизации при затверждении сплава.

При модифицировании углеродсодержащими материалами образуются карбиды (в основном Al_4C_3), которые также являются центрами кристаллизации (табл. 2.64).

2.64. Модифицирование сплавов системы Mg—Al—Zn

Операции	Содержание операций
А. Модифицирование магнезитом	
1. Подготовка модификатора	1. Измельчить на куски до размера 10—25 мм магнезит, просушить при температуре 150—200° С 2. Отвесить в количестве 0,25—0,3% от массы шихты 3. Прогреть предварительно очищенный колокольчик и заложить в него навеску модификатора
2. Модифицирование	1. Магниевые сплавы промышленной чистоты, приготовленные с применением флюса Вн2, модифицируют при температуре 720—740° С. Допускается модифицировать при 740—780° С. Магниевые сплавы промышленной или повышенной чистоты, приготовленные с применением флюсов ФЛ5 или ФЛ5 и ФЛ11, модифицировать при 740—780° С 2. Погрузить колокольчик в сплав примерно на половину глубины тигля. Продолжительность модифицирования 8—10 мин 3. По мере необходимости присыпать поверхность расплава флюсом 4. Следующая операция — рафинирование
Б. Модифицирование мелом	
1. Подготовка модификатора	1. Просушить при температуре 150—200° С модификатор, измолоть и просеять через сито с ячейками 0,2—0,5 мм 2. Отвесить в количестве 0,5—0,6% от массы шихты
2. Модифицирование	3. Тщательно прогреть колокольчик и заложить в него навеску модификатора Модифицирование производят при 740—780° С в течение 3—5 мин. По мере необходимости присыпать зеркало сплава флюсом

Продолжение табл. 2.64

Операции	Содержание операций
В. Модифицирование перегревом	
1. Рафинирование	Расплавленную шихту довести до температуры 720—740° С и рафинировать
2. Модифицирование	
После рафинирования поднять температуру до 830—860° С при плавке в стационарных тиглях и до 850—900° С при плавке в выемных тиглях Выдержать при указанных температурах в стационарных тиглях 15—20 мин и в выемных тиглях 10—15 мин	

Примечания: 1. Следующие операции — отбор технологической пробы, по возможности быстрое понижение температуры сплава до температуры заливки и разливка его по формам.

2. Модифицирование сплавов Мл4п.ч. и Мл5п.ч. методом перегрева не производят.

6. ПЕРЕПЛАВ СТРУЖКИ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ (табл. 2.65)

2.65. Переплав стружки магниевых сплавов

Операции	Содержание операций
1. Подготовка стружки	Просушить стружку в шкафу, на противне или иным путем при температуре 120—200° С
2. » тигля	
3. Загрузка флюса	1. Стружка может быть переплавлена в литежных или сварных стальных тиглях или в отражательных печах с ручной или механизированной загрузкой ее в печь 2. Очистить тигель и подогреть его до темно-красного каления (~500° С)
4. Нагрев флюса 5. Загрузка стружки и расплавление	Загрузить порошкообразный или жидкий флюс Ви2 в количестве ~10% при ручной загрузке стружки и ~20% при механизированной
6. Рафинирование	Нагреть флюс до температуры 650—720° С Загрузить стружку мелкими навесками по 3—10 кг, поддерживая температуру ванны 600—700° С. По мере необходимости добавлять на поверхность флюс Ви2
7. Отбор пробы	Рафинировать расплав флюсом Ви2 при температуре 680—700° С
8. Разливка сплава	Отобрать пробу на химический или спектральный анализ, а также пробу на чистоту сплава (по излому)
	Разлить сплав по изложницам, нагретым до 120—200° С

ФОРМОВОЧНЫЕ И СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ

С учетом физико-химических свойств магния и его сплавов (высокое сродство расплавленного металла к кислороду воздуха и энергичное взаимодействие с влагой форм и стержней) к формовочным и стержневым смесям предъявляют следующие требования.

1. Содержание в смесях защитных добавок в количестве, достаточном для предохранения сплава от окисления и взаимодействия с влагой во время заливки и затвердевания его в форме.

2. Химическая инертность смесей по отношению к жидкому магниевому сплаву, отсутствие посторонних включений в смеси (частиц угля, растительных остатков перегноя, торфа и т. п.) во избежание появления газовых раковин в отливке.

3. Высокая газопроницаемость.

4. Минимальная газотворная способность связующих.

5. Минимально возможная влажность.

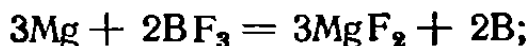
6. Способность стержневых смесей высыхать при низких температурах, чтобы исключить выгорание серы.

7. Достаточная податливость и легкая выбиваемость стержней из отливок.

Чтобы избежать активного окисления и горения магния в форме, в состав формовочных и стержневых смесей вводят защитные присадки: в формовочные смеси — фтористую присадку или ВМ; в стержневые смеси — серу и борную кислоту.

Механизм защитного действия присадок заключается в следующем.

1. Фтористая присадка состоит из фторборкислого аммония NH_4BF_4 , кислого фтористого аммония NH_4F и среднего фтористого аммония NH_4HF_2 . По-видимому, при температуре литья в результате разложения продуктов фторприсадки и их взаимодействия с формовочной смесью в газовой фазе находятся пары NH_4BF_4 , BF_3 , NH_3 . Образовавшиеся газообразные соединения способствуют созданию защитной газовой среды на границе раздела металл-форма, препятствуя окислению сплава. Кроме того, возможны следующие реакции между магнием и газообразными продуктами:

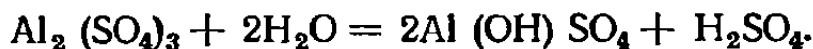


Образование на поверхности сплава пленки MgF_2 способствует защите сплава от окисления, так как соотношение

$$\frac{V_{\text{MgF}_2}}{V_{\text{Mg}}} = 1,36 \text{ (т. е. } > 1).$$

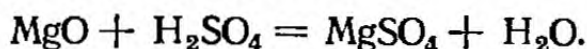
Установлено также, что бор и фтор входят в поверхностные слои сплава за счет образования твердых растворов внедрения.

2. Присадка ВМ состоит из сернокислого глинозема $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и борной кислоты H_3BO_3 . При температуре литья возможно протекание следующих реакций:



Борная кислота при нагревании переходит в борный ангидрид B_2O_3 , который взаимодействует с магнием: $3\text{Mg} + \text{B}_2\text{O}_3 = 3\text{MgO} + 2\text{B}$.

Оксид магния взаимодействует с серной кислотой с образованием на поверхности сплава сернокислого магния:



Таким образом, защита от окисления происходит за счет образования инертной газовой среды (NH_3) на границе металл-форма, а также образования на поверхности сплава защитной пленки MgSO_4 , уплотненной бором.

3. При совместном введении серы и борной кислоты на поверхности сплава образуется пленка сульфата магния MgS , уплотненная бором. Эта пленка хорошо защищает сплав от окисления, так как

$$\frac{V_{\text{MgS}}}{V_{\text{Mg}}} = 1,26 (> 1).$$

Составы защитных присадок приведены в табл. 2.66.

Для приготовления формовочных и стержневых смесей (табл. 2.67 и 2.68) применяют пески кварцевые, тощие и полужирные (ГОСТ 2138—56). Кроме указанных песков для изготовления оболочковых форм используют также цирконовые и оливиновые пески (см. раздел 3, глава I).

Основные свойства стержневых смесей для магниевого литья в песчаные формы и в кокиль приведены в табл. 2.69.

2.66. Защитные присадки для форм и стержней магниевых отливок

Присадки	Содержание в %	Назначение
Борная кислота	Не менее 99	Добавка в песчано-глинистые стержневые смеси, в песчано-смоляные и гипсовые смеси
Сера в порошке	Не менее 99	Добавка в песчано-глинистые, стержневые и формовочные смеси
ВМ: мочевина $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ борная кислота	58—62 24—26 14—16	Добавка в формовочные смеси
Колчедан серный флотационный	—	Для песчано-смоляных смесей и для форм при литье по выплавляемым моделям
Калий борофтористоводородный	—	Для окраски форм и стержней и для припыла форм
Припылы: борная кислота сера	50 50	Противопригарное средство

2.67. Типовые формовочные смеси для литья из магниевых сплавов

Тип смеси	Исходный состав		Рабочий состав		Состав освежения		Физико-механические свойства смеси		
	Компоненты смеси	Количество в ч. по массе	Компоненты смеси	Количество в ч. по массе	Компоненты смеси	Количество в ч. по массе	Влажность в %	Газопроницаемость	Предел прочности при сжатии сырых образцов в кгс/см ²
Ф-I	Песок П01 или П0063	95—90	Оборотная смесь	85—97	Песок П01	70—80	4,5—5,5	30—60	0,4—0,7
	Песок К016А или К01А	5—10	Освежающая смесь	15—3	Песок К01А	30—20			
	Вода	До нормы	Вода	До нормы	Присадка ВМ	4—7			
Ф-II	Песок П016 или П01 или П0063	100	Оборотная смесь	85—97	Песок П01	30—60	4,0—5,0	45—90	0,4—0,8
	Присадка ВМ	5—7	Освежающая смесь	15—3	Песок К02Б	70—40			
	Вода	До нормы	Вода	До нормы	Присадка ВМ	5—8			
Ф-III	Песок К02Б или К016А	63—45	Оборотная смесь	85—97	Песок К02Б	63—45	2,5—3,5	50—120	0,4—0,7
	К01А или 1КРС или 1КРМ	30—50	Освежающая смесь	15—3	» К01А	30—50			
	Бентонитовые глины Б1, Б2, Б3	7—5	Вода	До нормы	Бентонитовая глина	7—5			
	Вода	До нормы			Присадка ВМ	5—8			
	Присадка ВМ	5—7			Песок 1КРС	93—95			
					Бентонитовая глина	7—5			
					Присадка ВМ	5—8			

Примечание. В случае применения присадки ВМ литниковую систему готовых форм припыливать смесью серы и борной кислоты, взятых в отношении 1 : 1.

Продолжение табл. 2.68

Группа стержней	Номер смеси	Связующие								
		М или М2	АГУ или АГФ	ЛКБТ или ЛКБЖ	Т	КО	Пектино- вый клей	10- 12%-ный раствор ПВС	Жидкое стекло	Едкий натр
II	1	—	—	—	—	—	—	5—6	—	—
	2	2—2,5	—	—	—	—	0,7—1	—	—	—
	3	2—2,5	—	—	—	—	2—2,5	—	—	—
	4	2—3,0	—	—	—	—	1,5—2,5	—	—	—
	5	—	—	2—2,5	—	1,25—1,5	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—	—	—	3—3,5	1—1,5
III	1	1,25—2	—	—	—	—	2—3	—	—	—
	2	—	—	2,5—3	—	1,25—1,5	—	—	—	—
	3	1,25—2	—	—	—	—	2—3,5	—	—	—
	4	—	—	2,5—3	—	1,25—1,5	—	—	—	—
	5	1,5—2	—	—	—	—	2—3,5	—	—	—
	6	—	—	2,5—3	—	1,25—1,5	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—	—	—	3—3,5	1—1,5

Примечания: 1. При изготовлении стержней II и III групп для отливок с толщиной стенки более 30 мм, а также стержней, образующих литниковые каналы, допускается введение 1,5—2% серы.

2. При изготовлении смесей на тонких песках вместо кварцевых применять тонкие пески с содержанием глины не более 5%.

3. Связующие ЛКБТ и ЛКБЖ применять в водном растворе плотностью 1,2—1,8. При применении песков с повышенным содержанием пыли или глины рекомендуется применять связующие плотностью 1,12—1,15 в двойном, против указанного в рецептуре, количестве.

2.69. Свойства стержневых смесей для магниевого литья в песчаные формы и кокиль

Группа стержней	Газопроницаемость в сыром состоянии	Влажность в %	Предел прочности в кгс/см ²	
			при сжатии в сыром состоянии	при растяжении в сухом состоянии
I	100	2,5—5	0,03—0,07	4—8
II	80	2,5—5	0,06—0,15	4—10
III	60	2,5—5	0,06—0,15	4—12

При литье в гипсовые формы основным формообразующим материалом является смесь гипса с асбестом, в которую можно добавлять кварцевые пески (табл. 2.70). После естественного твердения на воздухе готовые формы подвергают обработке паром в автоклаве, последующей сушке и прокатке.

2.70. Составы смесей для изготовления гипсовых форм в ч. по массе

Гипс	Песок	Асбест в порошке	Борная кислота	Вода	Назначение
40	50	10	1	40	Гипсовые формы массой до 30 кг для литья по постоянным и выплавляемым моделям
80	—	20	1	60	Гипсовые формы массой до 2 кг для литья по постоянным моделям

Примечание. Борную кислоту вводят в воду перед засыпкой сухой смеси, предварительно борную кислоту разводят в небольшом количестве горячей воды.

При литье магниевых сплавов по выплавляемым моделям в качестве керамической обмазки можно применять этилсиликат с окисью алюминия и борной кислотой. Для изготовления формы используют гипсовую массу с асбестом и борной кислотой.

ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМОВКИ ДЛЯ МАГНИЕВОГО ЛИТЬЯ

Физические и технологические свойства магниевых сплавов определяют некоторые особенности при выборе расположения отливки в форме и необходимой литниковой системы (табл. 2.71).

2.71. Требования к отливке и выбор литниковой системы

Особенности литейных магниевых сплавов	Требования к отливке	Литниковая система
Значительная окисляемость в расплавленном состоянии. Низкое теплосодержание расплавленного металла. Малое статическое давление расплавленного металла. Широкий интервал кристаллизации сплавов системы Mg—Al—Zn (Мл4, Мл5, Мл6). Повышенная линейная усадка сплавов, легированных цирконием	Отливка должна располагаться так, чтобы была обеспечена направленная кристаллизация. Массивные участки должны располагаться над менее массивными. Плоскость разреза формы должна иметь минимальное число стемов, обеспечивать удобство формовки и сборки форм. Следует избегать горизонтального положения стенок с большой поверхностью. Обрабатываемые поверхности должны располагаться вверх. Необходимо обеспечивать свободное удаление из формы воздуха и газов	Для мелких и средних отливок — нижняя литниковая система. Для средних тонкостенных отливок с вертикальными стенками, для крупных и в особенности толстостенных отливок (цилиндрической формы) — вертикально-щелевая система. Для крупных отливок в случае невозможности установки вертикально-щелевой системы — комбинированная литниковая система

Для обеспечения плавного поступления сплава в форму для магниевых сплавов рекомендуются расширяющиеся литниковые системы, в которых площадь сечения питателей больше площади сечения стояка и коллектора. Размеры каналов литниковых систем определяются скоростью движения сплава в них, расходом сплава через систему и требованиями минимальных размеров литниковой системы.

Литниковая система должна обеспечить определенную скорость подъема сплава в форме для того, чтобы все элементы отливки оказались заполненными сплавом (см. раздел 3, глава I).

Для отливок из магниевых сплавов рекомендуются следующие соотношения размеров основных элементов литниковых систем:

$$\sum F_{ст} : \sum F_{кол} : \sum F_{пит} = 1 : 2 : 4, \text{ или } 1 : (1,5 \div 3) : (3 \div 6),$$

вертикально-щелевой

$$\sum F_{ст} : \sum F_{кол} : \sum F_{щ} = 1 : 2 : 4,$$

где $\sum F_{ст}$, $\sum F_{кол}$, $\sum F_{пит}$, $\sum F_{щ}$ — суммарная площадь сечений соответственно стояков, коллекторов, питателей и щелей.

Суммарную площадь сечений стояков можно находить по номограмме (рис. 2.28) или по формуле

$$\sum F_{ст} = \frac{4,2Q}{\rho H \delta V_{ст}} = K \frac{Q}{\delta H},$$

где Q — масса отливки в г;
 ρ — плотность сплава в г/см³;
 H — высота в см;
 δ — толщина стенки отливки;
 $V_{ст}$ — скорость сплава в стояке в см/с.

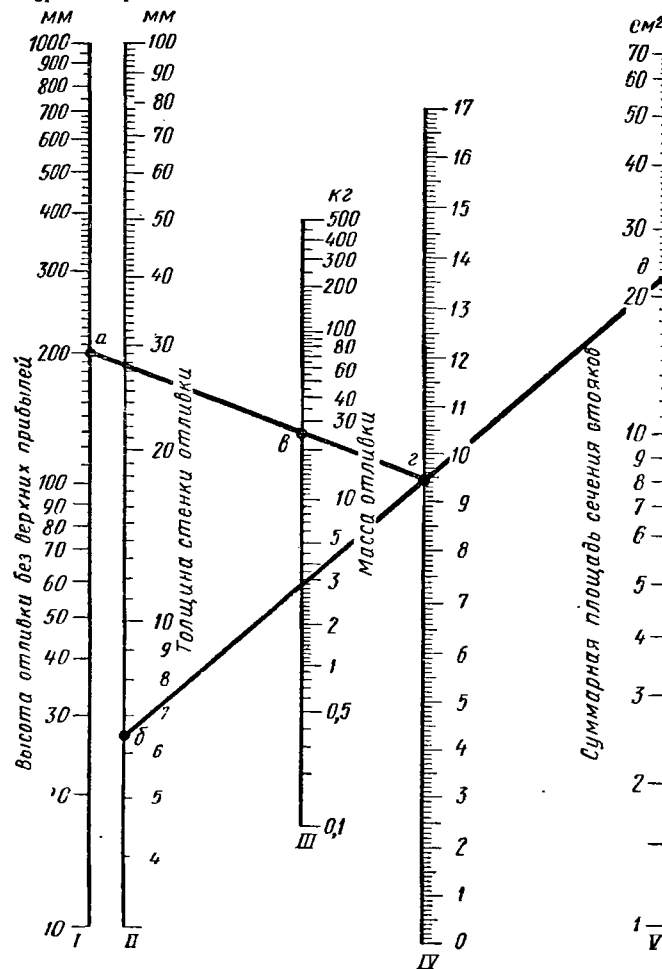


Рис. 2.28. Номограмма для определения сечения стояка

Для магниевого сплава $V_{ст}$ принимается равной 130 см/с.

Для пользования номограммой необходимо знать расчетную массу отливки, минимальную толщину стенки и высоту отливки (без выпоров). На шкалах I, II, III находят точки, соответствующие высоте, толщине и массе отливки. Соединяют найденные точки на шкалах I и III и продолжают до пересечения со шкалой IV. Точку на шкале II соединяют с точкой на шкале IV и продолжают до пересечения со шкалой V (точка δ). Точка δ соответствует значению искомого суммарного сечения стояков.

Форму и площадь сечения одного стояка можно определять по табл. 2.72. Для уменьшения скорости заполнения формы и частичного задержания шлаков во многих случаях под круглые стояки устанавливают металлические сетки, которые изготовляют из листового железа толщиной 0,3—0,5 мм. Диаметр разделки круглых стояков для установки сеток выбирают по табл. 2.73.

2.72. Рекомендуемые площади сечения стояка

Отливки	Максимальный напор металла в мм	Площадь сечения стояка в см ²	Стояк
Мелкие	350	1—2,5 1—3	Круглый Щелевой (пластинчатый)
Средние в крупные	250	1—4	Круглый Щелевой (пластинчатый)
	250—500	1—4 1—6	Щелевой (пластинчатый) Змееобразный
	Свыше 500	1—12	Змееобразный

2.73. Диаметр разделки круглого стояка под сетки с отверстием диаметром 3 мм

Площадь стояка в см ²	Диаметр разделки стояка в мм при максимальном напоре металла в мм		
	100	200	300 и более
1,0	18	17	17
1,5	23	20	20
2,0	25	23	20
2,5	28	25	25
3,0	30	28	25
4,0	35	32	30

Суммарную площадь сечения коллекторов определяют из соотношения

$$\sum F_{кол} = 2 \sum F_{ст}$$

При течении сплава от стояка в двух направлениях площадь сечения коллектора принимается равной площади сечения стояка. Размеры стояков и коллекторов приведены на рис. 2.29.

Коллектор обычно имеет форму трапеции, верхнее основание которой (b) составляет 0,8 нижнего основания (a). Коллектор располагают

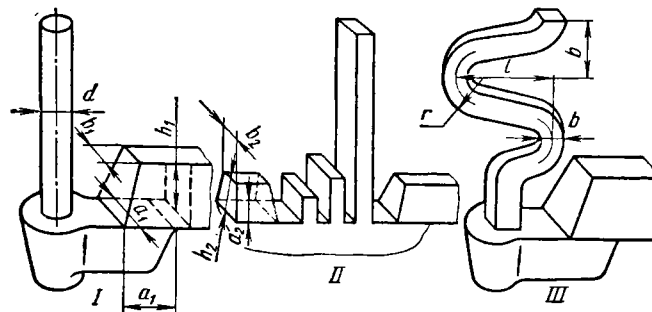


Рис. 2.29. Конструктивные размеры стояков и коллекторов:
I — $h_1 = 1,2 a_1$; $b_1 = 0,8 a_1$; II — $h_2 = 1,2 a_2$; $b_2 = 0,8 a_2$;
III — $l = 80$; $b = 45$; $r = 20$

так, чтобы 0,2—0,3 высоты его находилось в нижней полуформе и 0,8—0,7 высоты в верхней полуформе. Размеры коллектора выбирают по табл. 2.74.

Суммарную площадь сечений питателей определяют из соотношения

$$\sum F_{пит} = 4 \sum F_{ст}$$

Наиболее распространены питатели толщиной 4—8 мм, шириной 25—60 мм, длиной (расстояние от коллектора до отливки) 25—60 мм. Число питателей устанавливают делением суммарной площади питателей на площадь одного питателя.

2.74. Зависимость размеров коллектора от его сечения

Площадь сечения коллектора в см ²	Нижнее основание в мм	Высота в мм	Площадь сечения коллектора в см ²	Нижнее основание в мм	Высота в мм
2	14	17	10	31	38
3	17	20	12	34	42
4	19	23	14	36	44
6	24	29	16	39	47
8	27	33	20	43	53

Щелевые питатели. Суммарную ширину вертикальных щелей находят по формуле

$$\sum s_{щ} = 0,024P,$$

где P — периметр отливки в см.

Ширина вертикальной щели

$$s_{щ} = (1,4 \div 1,5) \delta,$$

где δ — толщина стенки отливки.

Если толщина стенки отливки более 10 мм, то ширину щели устанавливают опытным путем.

Вертикальные цилиндрические питатели (колодцы) используют для подвода сплава к вертикальной щели. Диаметр цилиндрического питателя

$$d = (4 \div 6) \delta.$$

Число цилиндрических питателей равняется числу вертикальных щелей.

Особенности формовки и сборки песчаных форм. При изготовлении и сборке форм для отливок из магниевых сплавов применяют в основном общие правила формовки. Специфические особенности изготовления форм приведены в табл. 2.75.

2.75. Возможные нарушения формовки и способы их предупреждения

Возможные нарушения	Способы предупреждения
Избыточное общее или местное увлажнение формы и стержня	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение формовочных смесей с минимально возможной влажностью. 2. При освобождении модели из форм и при заправке формы не разрешается увлажнять форму водой с помощью кисти или иным путем. 3. Не разрешается установка в форму горячих стержней во избежание отпотевания формы (осаждения влаги на холодильниках). 4. Применять для обдувки формы сухой воздух.
Окисление металла в форме и образование загара вследствие недостатка защитных присадок	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обеспечение равномерного распределения защитных присадок при изготовлении и переработке формовочных смесей. 2. Обеспечение систематического контроля формовочной смеси на содержание защитных присадок. 3. Припыливание литниковой системы смесью серы и борной кислоты.
Чрезмерно высокая степень уплотнения формы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение формовочных смесей с прочностью по-сырому, не превышающей 0,8 кгс/см². 2. Обеспечение возможно более слабой набивки формы, допускающей сборку и транспортировку без разрушения. 3. Соблюдение равномерной набивки формы.

Глава VI

ЗАЛИВКА ФОРМ

Сплав разливают по формам с помощью ковшей или непосредственно из выемного тигля, в котором был приготовлен рабочий сплав. Сплав заливают в формы через литниковые песчаные или металлические чаши. Металлические чаши перед употреблением окрашивают специальными красками (табл. 2.76). Предварительно чаши нагревают до 150—200° С. Окрашенные чаши просушивают при 250—300° С. Окраску чаш производят не реже, чем через каждые пять заливок.

2.76. Составы красок для окрашивания литниковых чаш в %

Окись цинка	Графит в порошке	Жидкое стекло	Вода
25,0	2,5	5,0	67,5
32,5	—	1,5	66,0

Сплавы, легированные цирконием, заливают через фильтр—бой магнезитового кирпича размером 10—15 мм, насыпанного в чашу слоем 80—150 мм в зависимости от массы заливаемого сплава. Бой кирпича применяют в нагретом до красного каления состоянии (~900° С).

Методика разливки сплава в формы приведена в табл. 2.77.

2.77. Способы заливки форм сплавом

Операции	Содержание операций
Заливка форм из выемных тиглей	
1. Выем тигля из печи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Осторожно вынуть тигель из печи и поставить на асбестовую прокладку или на пол, выложенный чугунными плитками. 2. Возможные очаги загорания в тигле потушить смесью серы с борной кислотой или серным цветом
2. Засыпка материала фильтра в чашу	Насыпать в литниковую чашу совком раскаленный бой магнезитового кирпича, если это необходимо
3. Заливка сплава в форму	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тщательно очистить носок тигля от флюса и окалины. 2. Поднести тигель к месту заливки. 3. Измерить температуру сплава в тигле. 4. Отвести флюсовый покров от носка тигля таким образом, чтобы он при заливке не мог попасть в форму. 5. Поднять тигель и, равномерно его наклоняя, залить форму. Струю сплава припыливать серой или смесью серы и борной кислоты. 6. После заливки форм в тигле должно остаться сплава не менее 10—15% при литье сплавов системы Mg—Al—Zn и 15—20% при литье сплавов системы Mg—Zr. Остаток сплава слить в другой тигель или в изложницу

Продолжение табл. 2.77

Операции	Содержание операций
Заливка форм из ковшей	
1. Промывка ковшей	<ol style="list-style-type: none"> 1. Осмотреть ковши и, убедившись в их исправности, промыть в тигле с флюсом, нагревая до красного каления. 2. Слить флюс через носок ковша и стряхнуть остатки флюса со стенок и дна ковша
2. Набор сплава ковшом	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отвести флюсовый покров с поверхности сплава донной частью ковша и, медленно погружая ковш, набрать сплав широкой стороной ковша. Не следует допускать попадания флюса в ковш. 2. Вынуть ковш со сплавом из тигля. 3. Слить небольшое количество сплава через носок в сливной противень или изложницу, чтобы удалить флюс, который может быть в носке ковша. 4. Присыпать флюсом поверхность сплава в тигле, если это необходимо. Не разрешается присыпать флюсом возможные очаги загорания сплава в ковше. Очаги загорания следует тушить смесью серы и борной кислоты (1 : 1) или серой. 5. Поверхность сплава в тигле следует присыпать флюсом после заливки не более трех ковшей подряд. Сплав рекомендуется брать из тигля только через 3—5 мин после присыпки флюсом.
3. Засыпка материала фильтра в чашу	Насыпать в литниковую чашу совком раскаленный бой магнезитового кирпича, если это необходимо
4. Измерение температуры сплава в ковше	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поднести ковш со сплавом к форме и поставить на пол или асбестовую прокладку. 2. Измерить температуру сплава термомпарой
5. Заливка сплава в форму	<ol style="list-style-type: none"> 1. Залить сплав в форму, равномерно наклоняя ковш так, чтобы носок его находился как можно ближе к литниковой чаше или воронке стояка. Во время заливки необходимо следить за тем, чтобы чаша была все время наполнена сплавом. 2. Струю сплава припыливать смесью серы и борной кислоты или серным цветом. 3. Слить остатки сплава из ковшей (10—15% сплава системы Mg—Al—Zn и не менее 15% сплава с цирконием) в изложницу, скрапной тигель или в тигель другой раздаточной печи с данным сплавом, если в нем еще не проводили операции модифицирования и рафинирования

КОНТРОЛЬ ОТЛИВОК И МЕРЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ БРАКА

Объем контроля определяется условиями эксплуатации деталей. При полном контроле определяют следующее: химический состав сплава, механические свойства на отдельно залитых и вырезанных из отливок образцах, состояние поверхности, геометрические размеры, плотность отливок и состояние мест, подвергавшихся заварке.

Виды дефектов отливок и меры их предупреждения приведены в табл. 2.78—2.81.

2.78. Группа 1. Дефекты, возникающие вследствие химического и механического взаимодействия с газами и влагой

Описание дефекта	Причины образования	Меры устранения или предупреждения
Шлаковые включения		
<p>Неметаллические окисные включения неправильной формы, темно-серого или черного цвета, заполняющие открытые или закрытые пустоты в теле отливки. Обнаруживаются при внешнем контроле отливки или при рентгеноконтроле</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Насыщенность металла шлаками вследствие: <ol style="list-style-type: none"> а) неправильного рафинирования (применение влажного флюса, рафинирование при высокой температуре или с малым количеством флюса, недостаточность продолжительности рафинирования); б) малое время выстояния после рафинирования; в) плохая промывка разливочного ковша флюсом; г) плохая очистка носка и стенок выемного ковша. 2. Неспokoйное (с завихрением) поступление металла в форму вследствие: <ol style="list-style-type: none"> а) неправильного выбора элементов литниковой системы; б) падения металла в полость формы; в) заливки формы с перерывом при незаполненном стояке 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тщательная очистка металла флюсами во время рафинирования. 2. Соблюдение установленного времени выстояния расплава после рафинирования. 3. Тщательная очистка разливочных ковшей, стенок и носка выемных тиглей от шлаков. 4. Понижение окислительности сплава добавкой бериллия
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение расширяющейся литниковой системы. 2. Подведение металла в нижнюю часть отливки или вертикально-щелевыми паттелами. 3. Заливка формы непрерывной струей при наполненных металлом литниковой чаше и стояке. 4. Уменьшение высоты падения металла при заливке. 5. Заливка при возможно более низкой температуре. 	

Продолжение табл. 2.7*

Описание дефекта	Причины образования	Меры устранения или предупреждения
	Окисная пленка (пленчатость)	
Отдельные открытые раковины с шероховатой поверхностью, покрытые пленками окиси магния. Пленки иногда отслаиваются отдельными листками. Обнаруживается при внешнем осмотре и особенно ясно после окислирования или обдувки дробью	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенная влажность формы. 2. Тугая набивка формы. 3. Недостатки литниковой системы или расположение отливки в форме, способствующее вспениванию металла при заполнении формы 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Правильное положение отливки (избегать горизонтального расположения плоскостных стенок больших размеров). 2. Применение литниковой системы, обеспечивающей плавное заполнение формы. 3. Соблюдение заданной влажности формовочной смеси. 4. Равномерная набивка формы
	Заплеск металла	
Окисная пленка, идущая в глубь отливки, часто бывает сквозной. Дефект обнаруживается также в виде застывшей капли металла на поверхности, не слившейся с телом отливки	Небрежная заливка — переливание металла через край литниковой чаши	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аккуратная заливка формы. 2. Предохранение открытых частей формы (выпоров) от попадания в них металла специальными щитками
	Подтек металла	
Внешний вид дефекта (подтек) сходен с заплеском	Нарушение в литниковой системе или небрежное изготовление и сборка формы, вследствие чего металл в отдельных местах поступает (стекает) в форму помимо литниковой системы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Своевременный контроль модельно-опочного инвентаря. 2. Прокладка шиурового асбеста или подрезка формы ланцетом вокруг стояков и в местах возможного попадания металла в форму помимо литниковой системы

Продолжение табл. 2.7*

Описание дефекта	Причины образования	Меры устранения или предупреждения	
	Вскиповая пленка (вскип, вскиповая раковина)		
	<p>Пустота неправильной формы, заполненная большим количеством тонких пленок, часто различного цвета (цвета побежалости), образующихся как в местах вскипа, так и над местом вскипа. Иногда это сквозное отверстие из-за прорыва газов через данное место отливки. Является следствием химического и механического взаимодействия металла с газами и влагой формы. Различают вскипы со стороны формы, вскип со стороны стержня, вскип от холодильника.</p>	<p>Большое давление газов и паров в форме, причиной чего являются:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) высокая газотворная способность материала формы и стержней; 2) малая газопроницаемость формы; 3) повышенная общая влажность формы или наличие местных увлажненных участков; 4) установка непродушенных стержней; 5) наличие отдельных участков формы с чрезмерной набивкой; 6) отсутствие воздухоотводящих каналов (или залв их металлом) в форме или стержнях; 7) некачественная подготовка холодильников (плохая очистка от загрязнений, установка непродушенных холодильников или неокрашенных холодильников 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение формовочных и стержневых смесей с высокой газопроницаемостью. 2. Устройство газотводящих каналов как в форме, так и в стержнях. 3. Поддержание минимальной влажности в формовочной смеси и предупреждение местного увлажнения формы. 4. Возможно слабая и равномерная набивка форм. 5. Применение крепежей и защитных добавок с возможно меньшей газотворной способностью. 6. Подсушка стержней, длительное время находившихся на складе. 7. Тщательная подготовка холодильников. 8. Установка в форму стержней, имеющих температуру, не превышающую значительно температуры формы. 9. Применение сухого воздуха при продувке формы
	Поверхностное окисление (загар, горение)		
Встречается в виде: <ol style="list-style-type: none"> 1) сплошной окисной пленки черного или серого цвета (в отдельных случаях пленка может быть сквозной); 2) отдельных или групповых раковин, заполненных порошком окислов черного или серого цвета; 3) наростов (грибка) черного цвета 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаток защитных присадок в формовочной смеси или в стержнях. 2. Повышенная влажность формы. 3. Применение влажных стержней. 4. Чрезмерно высокая температура заливки формы. 5. Медленное остывание отливки в форме, способствующее выгоранию защитных присадок 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие защитных добавок и влаги в смесях в соответствии с ТУ. 2. Надлежащая сушка и подсушка стержней. 3. Припыливание литниково-выпорной системы смесью серы и борной кислоты. 4. Оприскивание стержней раствором борофтористого калия. 5. Увеличение количества защитных присадок. 6. Увеличение скорости охлаждения отливки (особенно массивных мест) путем установки холодильников. 7. Добавление в сплав бериллия 	

Продолжение табл. 2.78

Описание дефекта	Причины образования	Меры устранения или предупреждения
Окисный спай		
Неслившись потоки металла, разделенные пленкой	<ol style="list-style-type: none"> 1. Медленное заполнение формы. 2. Неправильная литниковая система, при которой образуются глухие плохо промываемые металлом полости, заполняемые несквозными потоками металла 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заполнение формы металлом в возможно короткое время. 2. Применение литниковой системы, обеспечивающей надлежащее заполнение формы металлом. 3. Повышение температуры заливки
Газовые раковины		
Пустоты различной величины, расположенные на поверхности или залегающие в глубине отливки. Раковины, залегающие в глубине отливки, имеют шарообразную форму с гладкой блестящей поверхностью. Наружные раковины имеют окисленную поверхность цвета обычно серого или черного. При взаимодействии металла с серой поверхность раковины имеет желтую окраску (серная раковина)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Захват воздуха при заливке из-за несовершенной литниковой системы. 2. Избыточное припыливание струи металла серой. 3. Неравномерное распределение защитных присадок в формовочной и стержневой смеси. 4. Наличие в смеси посторонних включений (например, частичек угля). 5. Местное переувлажнение формы. 6. Пониженная газопроницаемость формы 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение литниковой системы, обеспечивающей плавное спокойное поступление металла в форму. 2. Равномерное распределение защитных присадок в смесях. 3. Минимально возможное содержание влаги в формовочной смеси. 4. Тщательная просушка стержней. 5. Повышение газопроницаемости стержневых и формовочных смесей. 6. Надлежащая вентиляция формы. 7. Устранение заливов и облоев.

Примечание. Особой формой взаимодействия с газами и влагой является растворение водорода в магниевых сплавах. Выделяющийся водород препятствует получению плотной отливки и способствует усилению дефекта микрорыхлоты, происхождение которой в основном является следствием усадочных явлений. Дефект микрорыхлота рассматривается ниже.

2.79. Группа II. Дефекты усадочного происхождения

Описание дефекта	Условия, влияющие на образование дефекта	Меры предупреждения
------------------	--	---------------------

Дефекты, образующиеся при кристаллизации отливок

Усадочная раковина

1. Усадочная раковина внутренняя — закрытая полость в теле отливки с шероховатой поверхностью. Обнаруживается рентгенопросвечиванием.

2. Усадочная раковина наружная — углубление в теле отливки с гладкой поверхностью

1. Отклонение от оптимального состава сплава.

2. Недостаточное питание отливки жидким сплавом вследствие:

- а) несовершенной литниковой системы;
- б) наличия в отливке непроницаемых массивов;
- в) неправильной установки холодильников;
- г) образования в форме заливов, облоев

1. Составление шихты по оптимальному химическому составу.

2. Применение литниково-выпорной системы, обеспечивающей последовательную кристаллизацию.

3. Повышение скорости охлаждения мест, имеющих неплотную структуру, увеличением размеров существующих или установкой дополнительных холодильников.

4. Замедление охлаждения выпоров путем подвода металла к основанию выпоров.

5. Увеличение размеров выпоров или установка дополнительных выпоров.

6. Изменение конструкции детали

Рыхлота (макрорыхлота)

Неплотная структура металла. Размеры отдельных пустот видны невооруженным глазом, располагается внутри отливки, выходит иногда на поверхность в виде червоточины

Те же, что и при образовании усадочной раковины

Микрорыхлота

Микрорыхлота — неплотная структура металла. Размеры отдельных пустот

1. Те же, что и при образовании усадочных раковин и рыхлот.

2. Усиление микрорыхлоты способствует поглощению расплавленным металлом водорода:

1. Те же, что и при усадочных раковинах и рыхлотах.

2. Применение сухих шихтовых материалов, очищенных от масла и продуктов коррозии.

Продолжение табл. 2.79

Описание дефекта	Условия, влияющие на образование дефекта	Меры предупреждения
неразличимы невооруженным глазом. Под микроскопом видны отдельные или связанные между собой отдельные пустоты. Дефект обнаруживается рентгенопросвечиванием. Излом дефектного места имеет светло-желтый, серый или черный цвет	а) при применении влажных шихтовых материалов; б) при соприкосновении открытой поверхности металла, не защищенной флюсами, с топочными газами	3. Возможно применение дегазации сплава

Дефекты, образующиеся в твердом или твердо-жидком состоянии

Трещины

1. Горячие трещины — прямолinéйные или извилистые разрывы (сквозные трещины) или надрывы (несквозные трещины) в теле отливки. Излом горячей трещины имеет окисленную поверхность, окрашенную в темно-серый или черный цвет.
2. Холодные трещины. Поверхность холодной трещины не окислена или слабо окислена

1. Неудовлетворительная конструкция отливки (наличие острых углов, резкие переходы сечений, малые радиусы закруглений).
2. Применение сплава, обладающего повышенной склонностью к образованию трещин, без учета этой особенности в конструкции детали.
3. Содержание примесей или добавок в сплаве, повышающих склонность к трещинообразованию.
4. Затрудненная усадка отдельных мест отливки. Трещины образуются, когда величина термических напряжений в отливке превышает предел прочности сплава при данной температуре

1. Изменение конструкции детали — устранение острых углов, устройство галтелей в острых углах, создание плавных переходов от толстых стенок к тонким. Особо тщательная проработка этих элементов при применении сплавов, обладающих повышенной склонностью к образованию трещин.
2. Изготовление форм и стержней с учетом технологических свойств сплава (понижение прочности и увеличение податливости стержней, уменьшение плотности набивки формы и др.).
3. Применение литниковой системы, обеспечивающей последовательную кристаллизацию отливки

Коробление

Искажение формы детали по сравнению с моделью, по которой эта деталь отлита.

1. Вызывается внутренними напряжениями в отливке (при недостаточной жесткости конструкции детали) во время ее остывания в форме.

1. Применение мер, описанных выше, для предупреждения трещин.
2. Установление дополнительных технологических перемычек или ребер жест-

Продолжение табл. 2.79

Описание дефекта	Условия, влияющие на образование дефекта	Меры предупреждения
Обнаруживается после остывания отливки в форме, после выбивки, после термической обработки и после заварки	2. При выбивке или механической обработке, часто является следствием небрежности в работе или неправильного крепления детали во время обработки. 3. При термической обработке вследствие неправильной укладки отливок в печь, при этом часть отливки провисает под влиянием собственной массы	кости. 3. Укладка отливок в печь при термической обработке таким образом, чтобы избежать провисания отдельных частей отливок. 4. Термическая обработка тонкостенных отливок при приспособлениях

2.80. Группа III. Неметаллические включения в отливке, не вызываемые взаимодействием с газами и влагой

Описание дефекта	Условия, влияющие на образование дефекта	Меры предупреждения
Флюсовые включения		
1. Крупные включения — раковины в теле отливки каллеобразной формы, заполненные флюсом, часто сопровождаются включениями шлака. 2. Мелкие включения при выливании, проявляющиеся в виде темных точек и пятен	1. Применение флюса, не соответствующего принятому методу плавки. 2. Применение некачественного флюса. 3. Несоблюдение режимов рафинирования и отставания металла в тигле. 4. Небрежный набор металла в разливочный ковш. 5. Плохая очистка от флюса выемного тигля.	1. Применение флюса, соответствующего принятому методу плавки. 2. Соблюдение правил обработки жидкого сплава в печи и набора металла в ковш. 3. Тщательная очистка разливочных ковшей, носка и стенок выемных тиглей. 4. Оставление в стационарном тигле не менее 20—30% металла от емкости тигля в зависимости от состава сплава. 5. Оставление в выемном тигле не менее 10—15% металла в зависимости от состава сплава.
Засор		
Открытая или закрытая раковина в теле отливки неправильной формы, полностью или частично заполненная формовочным материалом	Несоблюдение общих правил изготовления и сборки литейных форм. Особенностями формовки деталей из магниевых сплавов является меньшая прочность формовочных и стержневых смесей и слабая набивка формы, что повышает возможность образования засоров	1. Употребление формовочной смеси с достаточной прочностью в сыром состоянии. 2. Равномерная набивка форм. 3. Аккуратная сборка форм. 4. Возможно меньшая продолжительность выстояния собранной формы перед заливкой

2.81. Группа IV. Прочие дефекты

Описание дефекта	Условия, влияющие на образование дефекта	Меры предупреждения
Несоответствие качества металла по химическому составу		
Брак по химическому составу	1. Неправильный расчет шихты (следует учитывать большой угар магния и редкоземельных металлов). Неправильное ведение плавки	1. Работа на заранее проанализированной шихте. 2. Проведение экспресс-анализа при работе на шихте из первичных металлов.
Ликвация	1. Избыток ликвирующего компонента. 2. Плохое перемешивание жидкого сплава. 3. Высокая температура разлива. 4. Медленное охлаждение отливки в форме (особенно массивных частей)	1. Улучшение методики перемешивания сплава. 2. Понижение температуры разлива в пределах технологически допустимой. 3. Увеличение скорости охлаждения массивных сечений отливки путем установки холодильников
Несоответствие качества металла по механическим свойствам		
Обнаруживается при механических испытаниях образцов, отлитых отдельно или вырезанных из отливок	1. Неправильное приготовление сплава: 1) наличие окисных включений; 2) плохое модифицирование. 2. Неправильная методика отливки (неудовлетворительная плотность, наличие рыхлот и микрорыхлот). 3. Неправильная термическая обработка: 1) низкая температура нагрева под закалку; 2) пережог (оплавление)	1. Соблюдение режимов плавки сплава и литья деталей в соответствии с установленной технологией. 2. Уточнение режимов термической обработки. Проверка исправности оборудования для термической обработки. 3. Устранение больших перепадов температур в рабочем пространстве печи для термической обработки. 4. Применение двухступенчатого нагрева деталей при закалке
Несоответствие размеров и конфигурации отливки чертежу		
Обнаруживается при внешнем осмотре и разметке	1. Неправильно принятая величина усадки при изготовлении модельного комплекта. 2. Работа с неисправным модельным комплектом и контрольно-измерительным инструментом при формовке и сборке форм. 3. Ошибка при формовке, изготовлении стержней и сборке форм. 4. Повреждение детали при выбивке и механической обработке	1. Соблюдение необходимой усадки, допусков и припусков при изготовлении модельного комплекта. 2. Соблюдение правил проверки модельного комплекта перед сдачей его в эксплуатацию и проведение периодического контроля модельно-опочного инвентаря. 3. Инструктаж формовщиков и сборщиков форм. 4. Создание эталонов по отделке деталей, инструктаж рабочих по выбивке, отрезке и механической обработке отливок

Глава VIII

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основным назначением термической обработки отливок из магниевых сплавов является повышение механических свойств и в первую очередь пределов прочности и текучести. Характерной особенностью магниевых сплавов является медленное протекание диффузионных процессов и, как следствие, сравнительно длительные режимы нагрева при закалке и старении. 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 очень влияет содержание основных легирующих компонентов. С повышением содержания Al в сплавах системы Mg—Al—Zn резко увеличивается время выдержки для перевода фазы Mg_2Al_3 в твердый раствор.

Сплавы системы Mg—Zn—Zr требуют меньшего времени для перевода вторых фаз в твердый раствор, чем сплавы системы Mg—Al—Zn. Вследствие медленного протекания диффузионных процессов закалка многих сплавов может производиться в спокойном воздухе. Все же закалка в струе воздуха (сжатым воздухом) и особенно в воде значительно повышает σ_B и $\sigma_{0,2}$ и особенно предел текучести.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Виды и назначение термической обработки отливок из магниевых сплавов приводятся в табл. 2.82.

2.82. Виды и назначение термической обработки, применяемой для отливок из магниевых сплавов

Вид термической обработки	Назначение
Старение из литого состояния с охлаждением на воздухе (T1). Отжиг с охлаждением на воздухе (T2)	Повышение механических свойств (σ_B , $\sigma_{0,2}$). Применяется для отливок из сплавов Мл12, Мл15. Снижение внутренних напряжений. Применяется для отливок из сплавов Мл2, Мл3, Мл7-1, а также для отливок из сплавов Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5п.ч., Мл5о.н., Мл6, если они не подвергаются упрочняющей термической обработке
Закалка с охлаждением на воздухе (T4)	Повышение механических свойств отливок (σ_B). При этом виде обработки значительно возрастают пластические свойства сплавов (δ , a_H). Применяется для отливок из сплавов Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5п.ч., Мл5о.н., Мл6, Мл11. Вследствие малой скорости диффузионных процессов в качестве охлаждающей среды обычно используется спокойный воздух. Для повышения механических свойств охлаждение отливок может производиться в струе воздуха (обдувка сжатым воздухом)

Продолжение табл. 2.82

Вид термической обработки	Назначение
Закалка с охлаждением на воздухе и последующее старение (Т6)	Повышение механических свойств и особенно упругих свойств сплава ($\sigma_{0,2}$, а также σ_B). Пластические свойства снижаются. Применяется для сплавов Мл4, Мл4п.ч., Мл5, Мл5п.ч., Мл5о.н., Мл6, Мл8, Мл9, Мл10, Мл11, ВМл6. Заметное увеличение значений $\sigma_{0,2}$ и σ_B достигается при закалке отливки в струе сжатого воздуха
Закалка с охлаждением в горячую воду и последующее старение (Т61)	Максимальное повышение механических свойств сплавов (σ_B , $\sigma_{0,2}$). Применяется для сплавов Мл6, Мл8, ВМл6

3. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Наиболее ответственной термической обработкой является закалка вследствие того, что нагрев производится при температурах, близких к началу оплавления. При этом возрастает опасность окисления и загорания отливок. Нагрев деталей под закалку производится 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 нагрева (до перевода всех наиболее легкоплавких составляющих в твердый раствор), поэтому может быть рекомендован и особенно в тех случаях, когда скорость подъема температуры печи высока и перепады температур печи превышают $\pm 5^\circ$. При одноступенчатом нагреве рекомендуется, чтобы скорость нагрева отливок до температуры закалки была не менее 2—3 ч.

2.83. Характеристика отливок из сплавов Мл5, Мл5п.ч. и Мл5о.н.

Группа	Способ литья	Характеристика отливок
I	В песчаные, оболочковые, гипсовые формы и по выплавляемым моделям	Отливки со стенками толщиной до 20 мм, имеющие массивные части толщиной до 40 мм, закладываемые установкой на них холодильников (если массивные части отливок не захлаживают, то отливки относят ко II группе)
II	То же	Отливки со стенками толщиной более 20 мм, имеющие массивные части толщиной более 40 мм
III	В кокиль	Все кокильные отливки

2.84. Режимы термической обработки отливок из магниевых сплавов

Сплав	Способ литья	Группа литья	Вид термической обработки	Закалка					Старение		Отжиг	
				Первая ступень		Вторая ступень		Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч
				Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч					
Мл2 Мл3	З З	—	T2 T2	— —	— —	— —	— —	— —	— —	350 350	2—3 2—3	
Мл4 Мл4п.ч.	З	—	T4 T6	380 380	8—16 8—16	— —	— —	Воздух	— 175	— 16	— —	
Мл5 Мл5п.ч. Мл5о.н.	З, К, О, В, Г	—	T2	—	—	—	—	—	—	—	350	2—3
	З, О, В, Г	I	T4 T6	415 415	8—24 8—24	— —	— —	Воздух	175 или 200	16 или 8	— —	— —
	З, О	II	T4 T6	360 360	3 3	420 420	21—29 21—29	Воздух	175 или 200	16 или 8	— —	— —
	К	III	T4 T6	415 415	8—16 8—16	— —	— —	Воздух —	175 или 200	16 или 8	— —	— —

Сплав	Способ литья	Группа литья	Вид термической обработки	Закалка					Старение		Отжиг	
				Первая ступень		Вторая ступень		Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч
				Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч					
Мл6	З, К	—	Т4 Т6 Т6I	360	3	410	21—29	Воздух ↳ Вода 90° С	—	—	—	—
				360	3	410	21—29		190	4—8	—	—
Мл7-1	З	—	Т2	—	—	—	—	—	—	325	3—5	
Мл8	З, К О, В, Г	—	Т6 Т6I	490	5	—	—	Обдувка сжатым воздухом Вода 90° С	165	24	—	—
				490	5	—	—		165	24	—	—
Мл9	З, К, О	—	Т6	540	8—12	—	—	Обдувка сжатым воздухом	200	6—12	—	—
Мл10	З, К, О, В, Г	—	Т6	540	8—12	—	—	То же	205	12—18	—	—
Мл11	З, К, О, В, Г	—	Т2 Т4 Т6	—	—	—	—	Обдувка сжатым воздухом	—	—	325	3—5
				570	4—6	—	—		200	12—16	—	—

Продолжение табл. 2.84

Сплав	Способ литья	Группа литья	Вид термической обработки	Закалка					Старение		Отжиг	
				Первая ступень		Вторая ступень		Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч
				Температура нагрева в °С	Выдержка в ч	Температура нагрева в °С	Выдержка в ч					
Мл12	З, К, О, В, Г	—	Т1	—	—	—	—	—	300	4—6	—	—
Мл15	З, К, О	—	Т1	—	—	—	—	—	300	2—6	—	—
ВМл6	З, К, О, В, Г	—	Т6 Т6I	400	2—3	425	8	Сжатым воздухом Вода 90° С	130	48	—	—
				400	2—3	425	8		130	48	—	—

Примечания: 1. Температура нагрева в пределах не более $\pm 5^\circ$.

2. Охлаждающая среда при отжиге и старении — воздух.

3. Длительность выдержки указана без учета времени, необходимого для нагрева до заданной температуры. При двухступенчатом нагреве время подъема температуры до верхнего предела температуры II ступени входит в общую длительность нагрева II ступени.

4. Для деталей из сплавов Мл5, Мл5п.ч. и Мл5о.н. с толщиной стенки 10—20 мм можно применять двухступенчатый нагрев, при этом температура нагрева и продолжительность выдержки на I ступени нагрева такая же, как для деталей II группы этих сплавов.

5. Детали II группы сплавов Мл5, Мл5п.ч. и Мл5о.н. можно обрабатывать по одноступенчатому режиму при температуре 415°С и выдержке 24—32 ч.

6. Для мелкого кокильного литья без песчаных стержней из сплава Мл5 время нагрева под закалку может быть принято 6 ч.

7. Детали из сплава Мл8 можно обрабатывать по двух- или трехступенчатому режиму при температурах I и II ступени 400 и 440°С и выдержке при каждой ступени в течение 0,5—1 ч, при этом длительность обработки при 490°С 5 ч сохраняется.

Для наиболее распространенных магниевых сплавов марок Мл5 и Мл5 п.ч. применяют дифференцированные режимы нагрева под закалку в воздушной среде в зависимости от метода литья и толщины стенок отливок. Характеристика групп литья из сплава Мл5 приведена в табл. 2.83, а рекомендуемые режимы термической обработки — в табл. 2.84.

В табл. 2.85 даны механические свойства образцов из сплава Мл5 после различных режимов термической обработки.

2.85. Влияние температур нагрева под закалку на механические свойства отдельно залитых образцов сплава Мл5 при выдержке 16 ч

Температура нагрева под закалку в °С	σ_B в кгс/мм ²			δ в %		
	Средние	Максимальные	Минимальные	Средние	Максимальные	Минимальные
410	25,0	26,5	24,0	10,3	11,0	9,7
415	25,3	28,4	23,7	12,1	13,3	8,5
420	26,0	28,0	24,5	10,0	11,0	8,3
425	27,0	28,1	25,6	10,2	12,8	8,3

Данные табл. 2.85 показывают, что повышение температуры термической обработки способствует повышению механических свойств. Увеличение длительности нагрева способствует общему выравниванию свойств между средними и минимальными их значениями. Длительность нагрева под закалку можно сократить при обработке в печах с малым перепадом температур, например в печах типа ПАП, обеспечивающих перепад температур $\pm 2^\circ$. Это позволяет повысить температуру нагрева под закалку до максимально возможной, что способствует более быстрому переходу вторых фаз (для сплава Мл5 фазы Mg_4Al_3) в твердый раствор.

4. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ

Для термической обработки отливок из магниевых сплавов применяют камерные, шахтные и методические печи. Наиболее совершенными являются печи типа ПАП (рис. 2.30), обеспечивающие перепад температур в печи не более $\pm 2^\circ$.

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 $\pm 5^\circ$;

не допускать прямого нагрева отливок (путем лучеиспускания нагревателей), применять экраны;

2.86. Печи, применяемые для термической обработки отливок из магниевых сплавов

Вид термической обработки	Тип нагревательной печи	Способ нагрева	Атмосфера печи	Характеристика печей
Отжиг (T2), старение	Шахтная, камерная, методическая	Любой (наиболее широко применяются электропечи сопротивления)	Воздух	Оборудование должно обеспечивать распределение температур с перепадами не более $\pm 5^\circ$
Закалка (T4)	То же	Электрический (печи сопротивления)	Воздух с добавлением 0,5—1,5% SO_2 (возможна среда азота, аргона или CO_2)	Перепад температуры в различных зонах печи не более $\pm 5^\circ$. Для обеспечения постоянства температур в рабочем пространстве печи рекомендуется установка внутри печи экранов и вентиляторов
	Рециркуляционная печь вентиляторного типа ПАП	За счет механической энергии вентилятора, создающего поток воздуха или газа, движущегося с определенной скоростью по замкнутому контуру	Воздух с добавлением 0,5—1,5% SO_2 (возможна среда азота, аргона или CO_2)	Печь герметизирована, обеспечивает перепад температур в пределах не более $\pm 2^\circ$

ЗАЩИТА ОТЛИВОК ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

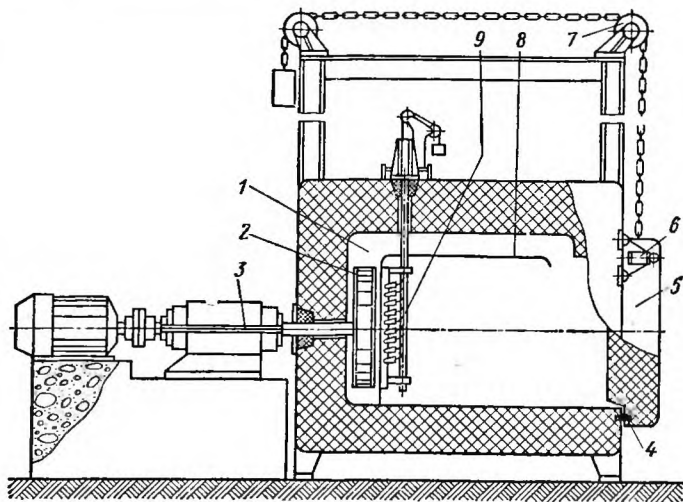


Рис. 2.30. Печь типа ПАИ;

1 — рабочая камера; 2 — центробежный вентилятор; 3 — вал с приводом; 4 — металлическая прокладка для герметизации печи; 5 — дверца; 6 — пневмоцилиндры горизонтального перемещения дверцы; 7 — электромеханический привод вертикального перемещения дверцы; 8 — экраны; 9 — устройство, автоматически регулирующее нагрев печи

обладать максимальной герметичностью и не иметь подсосов воздуха; желательнее применять инертную атмосферу в рабочем пространстве печи.

Характеристика нагревательных печей, применяемых для термической обработки магниевых сплавов, приведена в табл. 2.86.

Магниевые отливки обладают более низкой коррозионной стойкостью по сравнению с алюминиевыми, поэтому магниевые отливки покрывают оксидными или анодными пленками, а затем наносят лакокрасочные покрытия. Перед нанесением защитных покрытий поверхность отливок тщательно очищают (табл. 2.87).

Порядок операций при очистке поверхности отливок и оксидировании (табл. 2.88) следующий: 1) обезжиривание; 2) промывка в горячей воде, затем в холодной; 3) травление; 4) кипячение в содовом растворе; 5) промывка в теплой воде; 6) обработка в растворе хромового ангидрида; 7) промывка в теплой воде; 8) оксидирование; 9) промывка в холодной воде, затем в горячей; 10) сушка.

Лакокрасочные покрытия для отливок из магниевых сплавов обычно состоят из слоя грунта и внешних изолирующих слоев эмалевой краски (табл. 2.89).

2.87. Методы очистки поверхности отливок

Операции	Назначение	№ раствора	Основные компоненты	Содержание в г/л	Режим работы	
					Температура раствора в °С	Время обработки в мин
Обезжиривание	Удаление следов жира, масла. Обеспечение смачивания поверхности детали оксидировочными растворами	1	Тринатрий-фосфат Едкий натр Жидкое стекло	40—60 10—25 20—30	60—90	
		2	Едкий натр Жидкое стекло	80—100 5—15	60—90	5—15
Травление	Очистка поверхности отливок и удаление загрязнений	—	Азотная кислота (1,4)	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, удаление старой оксидной пленки	—	Хромовый ангидрид	20—30 или 150—200	60—70	8—12
		—		200—250	15—30	8—12 20—30 ¹

¹ Для магниевых сплавов, легированных цирконием.

2.88. Методы оксидирования в растворах, содержащих хромовые соли

№ метода	Основные компоненты	Содержание в г/л	Температура раствора в °С	Продолжительность обработки в мин.	Применение
1	Двухромовокислый калий Азотная кислота (1,4 г/см ³) Хлористый аммоний	40—55 65—85 0,75—1,25	70—80	До 2	Отливки и детали, не имеющие размеров 1—2-го классов точности
2	Двухромовокислый натрий Сернистый аммоний Аммнак (25%) Предварительная обработка во фтористоводородной кислоте и промывка в холодной воде	20—30 25—30 4—6	100	45	Детали, имеющие размеры 1—2-го классов точности
3	Двухромовокислый калий Хрозовый ангидрид Сернистый аммоний Уксусная кислота (60%)	140—160 1—3 2—4 10—20	65—80	0,5—1,5	
4	Двухромовокислый калий Фтористый натрий или калий (предварительная обработка)	100—150 35—40	90—100 15—30	40—60 10—12	
5	Двухромовокислый калий Алюминиевокальциевые квасцы Уксусная кислота	30—50 8—12 5—8	15—30	5—15	Детали из литых и деформированных магниевых сплавов с точными размерами и сборные узлы

2.89. Свойства различных систем покрытий

Система покрытий		Термостойкость в °С		Эксплуатационная стойкость (в годах) в атмосферных условиях поверхностей		Температура сушки в °С
				внешних	внутренних	
Грунт	Эмаль	длительная	кратковременная			

Системы покрытий с термостойкостью до 100°С

ГФ-031	ХВ-16 различных цветов	90	100	5	7	100—120
АГ-10с		90	100	6	7	15—80
АГ-10с	ЭП-140 светлых тонов	100	120	4	6	15—90
ЭГ-4		100	120	4	7	15—120

Системы покрытий с термостойкостью до 200°С

АГ-10с	ЭП-255 зеленая	200	250 (30 ч)	4	6	15—120
	Э-11 черная	190—200	230	4	6	15—120
	ВЛ-725	200	225	5	6	140
	ЭП-140 зеленая, черная, алюминиевая	200	250	4	6	15—120
ГФ-031	ВЛ-725 алюминиевая	200	225	4	6	120—140
ЭГ-4	ЭП-140 зеленая, черная, алюминиевая	200	250	5	6	15—120
	ВЛ-725	200	250	4	5	140

Примечание. Системы покрытий ГФ-Л31 и ХВ-16, АГ-10с и ХВ-16 устойчивы к обливу минеральными маслами и не устойчивы к обливу синтетическими. Остальные приведенные системы покрытий устойчивы к обливу минеральными и синтетическими маслами.

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОМЫШЛЕННОЙ САНИТАРИИ ПРИ РАБОТЕ С МАГНИЕВЫМИ СПЛАВАМИ

Продолжение табл. 2.90

Отделение	Расчетная единица	Норма оснащения средствами тушения
Термическое или заварочное	1. Нагревательная печь 2. 100 м ² площади пола	Сухой плавильный флюс — ящик емкостью до 50 кг. Общее количество противопожарных запасов флюса должно быть не менее 10% емкости нагревательных печей. При ящике лопата или совок Сухой песок — ящик емкостью до 0,5 м ³ . При ящике лопата или совок
Механической или слесарной обработки	1. Один-два станка 2. 3—5 рабочих мест слесарной обработки 3. 100 м ² площади пола 4. Место сбора стружки и опилок	Патрон с сухим флюсом * * * * Сухой песок — ящик емкостью до 0,5 м ³ . При ящике лопата или совок Сухой флюс — один ящик. При ящике лопата или совок
Прочие помещения	—	Нормы огнетушительных средств устанавливаются, исходя из конкретных условий

2.91. Температура возможного загорания изделий из магниевых сплавов

Марка сплава	Температура возможного загорания в °С	Марка сплава	Температура возможного загорания в °С
Мл4 Мл6 Мл3, Мл5	400 415 430	Мл9, Мл10	550
		Мл11	580
Мл8, Мл12 Мл15	500	Магний	650

2.90. Примерные нормы оснащения помещений средствами тушения загоревшихся изделий из магниевых сплавов

Отделение	Расчетная единица	Норма оснащения средствами тушения
Плавильное	1. Плавильная печь 2. 100 м ² площади пола 3. 100 м ² площади пола	Сухой флюс — один или два ящика, каждый емкостью до 50 кг. При ящике одна лопата или совок. Общее количество противопожарных запасов флюса, находящихся в отделении, должно быть не менее 10% емкости плавильных печей Сухой песок — один или два ящика емкостью до 0,5 м ³ . При каждом ящике лопата или совок Асбестовое одеяло, кошма или войлок размером 2×2 м, не менее 2 шт. на одно помещение
Заливочное, обособленное от плавильного	100—150 м ² площади пола	Сухой флюс — ящик емкостью до 50 кг, при ящике лопата или совок

2.92. Огнегасительные средства для цехов,
в которых производится отливка или обработка изделий из магниевых сплавов

Группа	Огнегасительные средства	Требования, предъявляемые к огнегасительным средствам	Назначение	Примечание
I — универсальные средства для тушения магния и его сплавов	Молотые флюсы для плавки магниевых сплавов	Флюсы должны быть сухими (допускается влажность флюсов не выше 3%). Флюсы должны храниться в герметичной таре	Для тушения магния и его сплавов в любом виде и в любом количестве	—
II — огнегасительные средства, применяемые для тушения магниевых сплавов в ограниченной степени	Песок	Должен быть сухим. Не должен быть загрязнен магниевой пылью	Для тушения небольших очагов горения магния и его сплавов	Запрещается тушить расплавленный металл в тигле или шахте печи
	Формовочная смесь для магниевых сплавов	Должна содержать защитную присадку ВМ не менее 5%. Не должна иметь влажность выше 7%	Для тушения очагов загорания на формовочном участке	То же Не разрешается также тушить горящие опилки и стружку
	Присадка ВМ	—	Может быть использована для тушения небольших очагов загорания	Запрещается тушить расплавленный металл в тигле или шахте печи

Продолжение табл. 2.92

Группа	Огнегасительные средства	Требования, предъявляемые к огнегасительным средствам	Назначение	Примечание
II — огнегасительные средства, применяемые для тушения магниевых сплавов в ограниченной степени	Порошкообразная огнетушительная смесь	Состав: кальцинированная сода — 96,5%, стеарат алюминия, магния или железа — 2%, стеариновая кислота — 0,5%, графит — 1%	Тушение очагов загорания магния с помощью ручных или переносимых порошкообразных огнетушителей ОПС-6, ОПС-10, ОПС-100 конструкции ЦНИИПО	Запрещается тушить расплавленный металл в тигле или шахте печи
	Графит в порошке	Должен быть сухим	Может быть использован для тушения небольших очагов загорания магния и его сплавов	То же
III — обычные средства пожаротушения	Вода, химические огнетушители «Богатырь» № 1 и 3, пенные огнетушители, углекислота и т. п.	—	Разрешается применять для тушения только тех частей здания, где нет слитков, изделий или стружки магниевых сплавов	Запрещается тушить горящий магний и его сплавы
	Воздушно-механическая пена	—	Для тушения горящих конструкций в цехах, где хранятся или обрабатываются магний или его сплавы	Не должна попадать на горящий магний и его сплавы

284 Вопросы техники безопасности и промышленной санитарии

Вопросы техники безопасности и промышленной санитарии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье легких сплавов. М., «Металлургия», 1969, 680 с.
2. Арбузов Б. А. Рациональный способ приготовления плакированных песков. ЛДНТП, 1965, 24 с.
3. Астаулов В. С., Жеглова Е. И., Комиссарова В. С. Магниево-алюминиевые сплавы повышенной коррозионной стойкости. Филиал ВИНТИ АН СССР, 1958, 50 с.
4. Глазунов С. Г., Спекторова С. И. Технологические свойства литейных алюминиевых и магниевых сплавов. М., Оборонгиз, 1950, 94 с.
5. Колобнев И. Ф., Крымов В. В., Полянский А. П. Справочник литейщика. М., «Машгиз», 1957, 482 с.
6. Крымов В. В. Флюсы для плавки магниевых сплавов. Сб. «Литье магниевых сплавов». М., Оборонгиз, 1952, с. 125—139.
7. Крымов В. В. Свойства магниевых сплавов и их применение в технике. Сб. «Магниево-алюминиевые сплавы». М., Стандартгиз, 1950, с. 5—22.
8. Крымов В. В. Техника безопасности и производственная санитария при работе с магниевыми сплавами. М., «Машиностроение», 1968, 228 с.
9. Михеева В. И. Сплавы магния с алюминием и цинком. АН СССР, 1946, 180 с.
10. Портной К. И., Лебедев А. А. Магниево-алюминиевые сплавы. М., Metallurgizdat, 1952, 736 с.
11. Рейнор Г. В. Металловедение магния и его сплавов (пер. с англ.). Под ред. Гальперина Е. Л. и Тиховой Н. М. М., «Металлургия», 1964, 486 с.
12. Свидерская В. А., Рахлин Л. Л. Магниево-алюминиевые сплавы, содержащие неодим. М., «Наука», 1965, 139 с.
13. Стрелец Х. Л., Тайц А. Ю. и Гуляницкий Б. С. Metallurgiya magniya. М., Metallurgizdat, 1960, 491 с.
14. Тимонова М. А. Коррозия и защита магниевых сплавов. М., «Машиностроение», 1964, 276 с.
15. Шаров М. В. Магниево-алюминиевые сплавы для фасонного литья. Сб. «Литье магниевых сплавов». М., Оборонгиз, 1952, с. 3—71.
16. Хансен М., Андерко К. Структуры бинарных сплавов (пер. с англ.). Под ред. Новикова И. И. М., Metallurgizdat, 1952, т. 1, 608 с.
17. Цветное литье. Под ред. Колобнева И. Ф. М., «Машиностроение», 1967, 384 с.

СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

Глава I

ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

1. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ФОРМ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОТЛИВОК

Исходными данными для разработки технологии литья в песчаные формы являются чертеж отливаемой детали и технические условия на ее изготовление. В технических условиях содержатся требования, предъявляемые к отливке по качеству сплава, точности размеров, указываются условия испытания и приемки отливок. Технологию разрабатывают применительно к производственным возможностям литейного цеха с учетом имеющегося оборудования.

При разработке технологии литейной формы определяют следующее: способ изготовления формы (вручную или на машинах, опочной или безопочной формовкой, по-сырому или по-сухому и т. д.);

расположение отливки в форме;

число и расположение стержней, их разбивку по номерам соответственно порядку простановки в форму;

состав и свойства формовочных и стержневых смесей;

разъем формы, модели и стержневых ящиков;

класс точности изготовления отливки;

усадку отливки и припуски на механическую обработку;

величину формовочных уклонов, радиусы закруглений и галтелей;

расположение и размеры технологических приливов, ребер, стяжек, арматуры и т. п.;

тип литниково-прибыльной системы, размеры ее элементов;

места простановки холодильников и их размеры.

Способ изготовления формы зависит от необходимого числа отливок и требований, предъявляемых к ним техническими условиями. Основным критерием для выбора того или иного способа изготовления является рентабельность производства.

При выборе положения отливки в форме следует стремиться обрабатываемые поверхности располагать вниз, так как сплав в нижних слоях более чистый и плотный. Массивные тепловые узлы отливок, кристаллизация которых заканчивается в последнюю очередь, следует располагать вверх, что облегчает условия их питания. Стержни и холодильники необходимо устанавливать в нижней полуформе, так как в противном случае осложняется изготовление формы.

Отливки типа цилиндров, втулок и др. следует располагать вертикально. В случаях, когда из-за удобства формовки их располагают горизонтально, рекомендуется кантовать формы при заливке.

Число стержней должно быть минимально необходимым для оформления внутренних полостей и поднутрений в отливках. Стержневые знаки должны иметь фиксаторы, исключающие возможность неправильной постановки стержней в форме. Вместо стержней в нижней половине целесообразно выполнять песчаные болваны при условии, если их высота не превышает толщину или диаметр болвана.

В моделях и ящиках следует избегать разъемов, так как это уменьшает их прочность и снижает точность размеров и чистоту поверхности отливок. Если разъем необходим, то его положение выбирают, исходя из следующего:

- 1) отливки должны находиться в нижней опоке;
- 2) поверхность разъема должна быть плоской и не пересекать вертикальные стенки; если это невозможно, то разъем следует делать по знаковым частям;
- 3) поверхности отливок, служащие базой при механической обработке, а также наиболее ответственные поверхности необходимо выполнять одними элементами формы, т. е. одной половиной формы и одним стержнем; при этом использование отъемных частей не рекомендуется.

3.1. Класс точности отливок

Формы	Отливка	Наибольший габаритный размер детали в мм			
		До 100	100—250	250—400	400—630
Сухие и сырые, изготовленные на машинах, а также вручную с применением модельных плит	Простая	Лт5	Лт5	Лт5	Лт5
	Сложная	Лт6	Лт6	Лт6	Лт6
Сухие и сырые, изготовленные вручную по индивидуальным моделям	Простая	Лт6	Лт6	Лт6	Лт6
	Сложная	Лт7	Лт7	Лт7	Лт7

Формы	Отливка	Наибольший габаритный размер детали в мм		
		630—1000	1000—1250	1250—2000
Сухие и сырые, изготовленные на машинах, а также вручную с применением модельных плит	Простая	Лт5	Лт6	Лт6
	Сложная	Лт6	Лт6	Лт6
Сухие и сырые, изготовленные вручную по индивидуальным моделям	Простая	Лт6	Лт7	Лт7
	Сложная	Лт7	Лт7	Лт7

Разъем стержневых ящиков должен обеспечивать получение цельных стержней. Поверхность, на которую стержень устанавливают при сушке, должна быть плоской.

В табл. 3.1 приведены классы точности отливок, получаемых в различных песчаных формах, а в табл. 3.2 — предельные отклонения размеров литых деталей 5—7-го классов точности.

3.2. Предельные отклонения размеров литых деталей 5—7-го классов точности в (±) мм

Класс точности	Обозначения допуска	Наибольший габаритный размер детали в мм				
		До 60	60—100	100—160	160—250	250—400
5-й	ДЛт5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	ТЛт5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0
	МЛт5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
6-й	ДЛт6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	ТЛт6	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
	МЛт6	1,0	1,0	1,2	1,2	1,5
7-й	ДЛт7	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
	ТЛт7	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5
	МЛт7	1,2	1,2	1,5	1,5	1,7

Класс точности	Обозначения допуска	Наибольший габаритный размер детали в мм					
		400—630	630—1000	1000—1250	1250—1600	1600—2000	2000—2500
5-й	ДЛт5	1,2	1,5	1,7	2,0	2,5	—
	ТЛт5	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	—
	МЛт5	1,7	2,0	2,2	2,5	3,0	—
6-й	ДЛт6	1,4	1,7	2,0	2,4	2,8	—
	ТЛт6	1,3	1,5	1,5	1,5	1,8	—
	МЛт6	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	—
7-й	ДЛт7	1,7	2,0	2,3	2,7	3,1	3,5
	ТЛт7	1,7	1,7	2,0	2,0	2,3	2,6
	МЛт7	2,0	2,5	2,7	3,0	3,5	4,0

Примечание. Д — размеры необрабатываемых длин (диаметров); Т — размеры толщин (стенок, ребер, фланцев и т. п.); М — размеры между необрабатываемыми поверхностями, включая толщины тел.

Припуск должен быть минимальным и достаточным для механической обработки, его величина зависит от точности изготовления отливки.

Минусовые отклонения размеров отливки (против указанных в чертеже) могут быть компенсированы за счет припуска, однако он может оказаться недостаточным для механической обработки, в результате

чего на обработанной поверхности появляются дефекты в виде черноты. Plusовые отклонения размеров (против указанных в чертеже) увеличивают припуск, что приводит к увеличению количества стружки при механической обработке.

В табл. 3.3 приведены наибольшие припуски на механическую обработку внешних поверхностей простых отливок из алюминиевых и

3.3. Припуски на механическую обработку отливок из цветных сплавов

Наибольший габаритный размер в мм	Положение поверхности	Номинальный размер в мм											
		До 120		120—260		260—500		500—800		800—1250		1250—2000	
		М	Р	М	Р	М	Р	М	Р	М	Р	М	Р
До 120	Верх	3	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Низ, бок	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120—260	Верх	3	4	3	4	—	—	—	—	—	—	—	—
	Низ, бок	2	3	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—
260—500	Верх	4	5	4	5	5	6	—	—	—	—	—	—
	Низ, бок	3	4	3	4	4	5	—	—	—	—	—	—
500—800	Верх	4	5	4,5	5	5	6	5,5	6	—	—	—	—
	Низ, бок	3	4	3,5	4	4	5	4,5	5	—	—	—	—
800—1250	Верх	5	6	5	7	5	7	6	8	6	8	—	—
	Низ, бок	3,5	5	4	5	4	5	5	6	5	6	—	—
1250—2000	Верх	5	7	5,5	7	6	8	6	8	7	9	7	9
	Низ, бок	4	5	4,5	5	5	6	5	6	6	7	6	7

Примечание. М — машинная и Р — ручная формовка.

магниевого сплава. Величина припусков может быть уменьшена до минимально необходимой (в результате повышения точности изготовления отливок и чистоты их поверхности).

Припуск на усадку назначают исходя из величины усадки сплава с учетом производственного опыта, так как фактическая усадка отливок (из-за затрудненной усадки) может не совпадать с величиной свободной усадки сплава.

3.4. Формовочные уклоны (ГОСТ 3212—57)

Высота модели в мм	Модели	
	металлические	деревянные
До 20	3°	3°
20—50	1° 15'	1° 30'
50—100	0° 45'	1° 15'
100—200	0° 30'	0° 45'
200—300	0° 30'	0° 30'
300—500	0° 30'	0° 30'
Св 500	—	0° 30'

Если по чертежу детали не предусмотрены конструктивные уклоны, то с целью облегчения удаления модели из формы (или стержня из ящика) назначают формовочные уклоны (табл. 3.4).

При конструировании отливки не следует допускать резких переходов от одной толщины стенки к другой, а также острых углов. Радиус закругления внутренних углов (галтелей) выбирают равным $\frac{1}{3}$ среднего арифметического значения толщин двух сопрягающихся стенок, образующих угол, и округ-

ляют до ближайшего числа стандартного ряда радиусов (в мм): 1; 2; 3; 5; 8; 10; 15; 20; 25; 30; 40.

Чтобы улучшить технологичность и прочность отливок, а также избежать коробления и образования трещин после затвердевания или термической обработки, предусматривают технологические приливы, ребра жесткости, стяжки и т. д., которые удаляются при механической обработке после снятия внутренних напряжений в отливках.

При изготовлении армированных деталей необходимо обеспечить соединение арматуры (втулок, вкладышей, трубок и т. д.) с материалом отливки нарезкой, заточкой, насечкой, фрезерованием канавок и т. п. Арматура не должна иметь острых граней, вызывающих надрезы в отливке.

При конструировании отливки необходимо учитывать особенности сплава как конструкционного материала. Например, для отливок из магниевых сплавов следует учитывать их низкий модуль нормальной упругости, низкий предел текучести, малое сопротивление срезу, повышенную чувствительность к надрезам.

2. ЛИТНИКОВО-ПРИБЫЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Литниковая система для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов должна отвечать следующим основным требованиям:

обеспечивать плавное, без ударов и завихрений заполнение сплавом формы, чтобы избежать захвата или подсоса воздуха, а также разрушения материала формы;

задерживать неметаллические включения, находящиеся в жидком сплаве;

способствовать удалению из полости формы воздуха и газов, образующихся при сгорании связующих материалов стержневой смеси.

обеспечивать наиболее рациональный тепловой режим формы с целью создания условий для последовательно направленной (снизу вверх) кристаллизации отливки.

В зависимости от места подвода сплава в форму различают следующие конструкции литниковых систем: нижние (сифонные), верхние, ярусные (с подводом по разьему формы на определенном уровне), вертикально-целевые, комбинированные, сочетающие элементы двух и более систем.

Нижняя литниковая система (рис. 3.1) обеспечивает спокойное заполнение формы сплавом (без завихрений и вспенивания), а также последовательное вытеснение воздуха и газов из полости формы; легко удаляется при обрубке. Недостатком нижней литниковой системы является перегрев нижней части формы и охлаждение сплава по мере заполнения и поступления в прибыльную часть, в результате чего на-

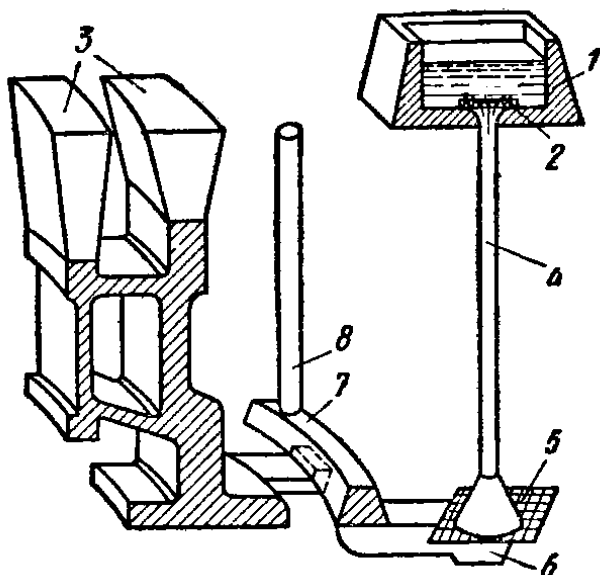


Рис. 3.1. Нижняя литниковая система: 1 — чаша; 2 — сетка; 3 — прибыль; 4 — стояк; 5 — сетка; 6 — зумпф; 7 — коллектор; 8 — выпор

рушается тепловой режим формы и затрудняется последовательная кристаллизация отливки, что может привести к образованию усадочных раковин и рыхлот. Кроме того, нижняя литниковая система не обеспечивает получение качественных тонкостенных высоких отливок, а также отливок с большой оребренной поверхностью.

Верхняя литниковая система (рис. 3.2) наиболее проста в изготовлении и легко удаляется при обрубке отливки. Заполнение формы сплавом сверху способствует последовательно направленной кристаллизации отливки снизу к прибыльной части. Расход сплава на верхнюю литниковую систему значительно меньше по сравнению с другими литниковыми системами за счет уменьшения размеров прибылей. Однако подвод

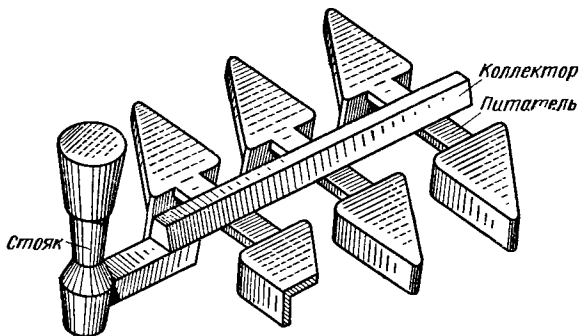


Рис. 3.2. Верхняя литниковая система

сплава в форму сверху (свободное падение струи) способствует интенсивному перемешиванию сплава, захвату воздуха, повышенному окислению и замешиванию шлаков. Поэтому верхняя литниковая система весьма ограниченно применяется для литья в песчаные формы алюминиевых сплавов (высота отливки не более 100 мм).

Ярусную литниковую (рис. 3.3) систему используют при изготовлении тонкостенных высоких отливок. Форма сначала заполняется сплавом снизу, что способствует последовательному вытеснению воздуха, а затем на определенных уровнях по высоте формы, соответствующих плоскостям разреза. Недостатки системы — сложность ее изготовления в форме и большой расход металла.

Вертикально-щелевая литниковая система (рис. 3.4) обеспечивает спокойное заполнение формы сплавом, способствует задержанию неметаллических включений в вертикальном колодце. Основным достоинством этой литниковой системы является обеспечение условий для последовательной (снизу вверх) кристаллизации отливок, так как благодаря последовательному заполнению формы горячим сплавом температура сплава в прибыльной части выше, чем в любом другом сечении полости формы. Эта система обеспечивает хорошее заполнение форм тонкостенных, высоких отливок. К недостаткам вертикально-щелевой литниковой системы следует отнести сложность ее выполнения в форме и удаления при обрубке, а также возможность образования местных перегревов формы в области, прилегающей к вертикальной щели.

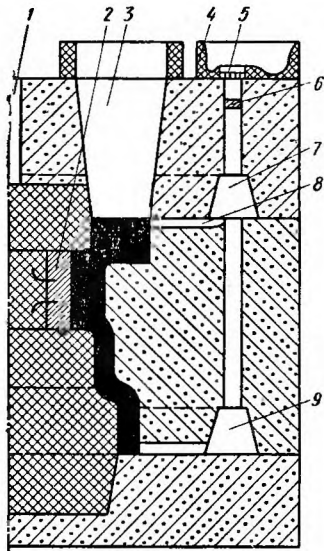


Рис. 3.3. Ярусная литниковая система:

1 — выпор; 2 — холодильник; 3 — прибыль; 4 — чаша; 5 — сетка; 6 — прямоугольный стояк; 7, 9 — соответственно верхний и нижний коллекторы; 8 — литник

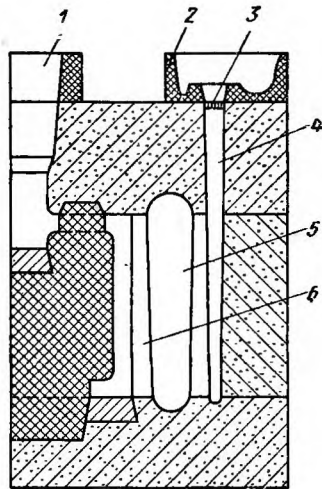


Рис. 3.4. Вертикально-щелевая литниковая система:

1 — прибыль; 2 — чаша; 3 — сетка; 4 — стояк; 5 — вертикальный колодец; 6 — щелевой питатель

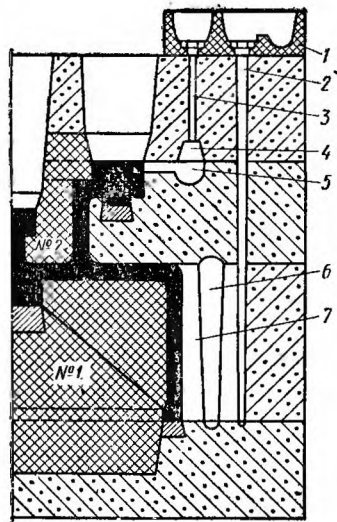


Рис. 3.5. Комбинированная литниковая система:

1 — литниковая чаша; 2 — стояк вертикально-щелевой системы; 3 — стояк верхней системы; 4 — коллектор; 5 — литник; 6 — вертикальный колодец; 7 — щель

Комбинированная литниковая система (рис. 3.5) обладает преимуществами верхней и вертикально-шелевой систем, дает возможность рационально распределить температуры по сечению формы и осуществить последовательную кристаллизацию сложной по конфигурации отливки. Недостатки системы: сложность изготовления и удаления при обрубке, повышенный расход металла на литниковую систему.

Для алюминиевых и магниевых сплавов применяют расширяющиеся литниковые системы, т. е.

$$\sum F_{\text{ст}} < \sum F_{\text{кол}} < \sum F_{\text{лит}},$$

где $\sum F$ — суммарная площадь поперечного сечения стояков, коллекторов (шлаковиков) и литников.

Для алюминиевых и магниевых сплавов применяют литниковые системы со следующими соотношениями:

$$\sum F_{\text{ст}} : \sum F_{\text{кол}} : \sum F_{\text{лит}} = 1 : 2 : 3; 1 : 2 : 4; 1 : 3 : 6.$$

Кроме того, для алюминиевых сплавов иногда применяют системы с заполненным коллектором

$$\sum F_{\text{ст}} < \sum F_{\text{кол}} > \sum F_{\text{лит}} = 1 : 3 : 2; 1 : 4 : 3; 1 : 6 : 4.$$

В таких системах создаются наилучшие условия для отшлакования в коллекторе, однако скорость потока сплава, поступающего в форму из литников, высокая, что может вызвать за ват воздуха и окисление сплава.

Для уменьшения скорости течения сплава и лучшего отшлакования в литниковых системах широко используют металлические сетки, а также сетки из стеклоткани.

Размеры элементов литниковой системы рассчитывают по формулам и номограммам, а затем корректируют в процессе освоения опытных отливок. Расчетным сечением является сечение стояка. Для алюминиевых и магниевых сплавов можно использовать следующую формулу:

$$F_{\text{ст}} = \frac{1000Q}{\tau \mu \rho \sqrt{2gH}},$$

где $F_{\text{ст}}$ — площадь сечения стояка в см^2 ;

Q — масса отливки в кг;

τ — продолжительность заливки в с;

μ — коэффициент расхода ($\mu < 1$);

ρ — плотность сплава в $\text{г}/\text{см}^3$;

H — расчетный напор в см.

Продолжительность заливки проверяют по скорости подъема сплава в форме. Для алюминиевых и магниевых сплавов скорость подъема v (в $\text{см}/\text{с}$) следует находить из соотношения

$$v = \frac{3 \div 4,2}{b},$$

где b — преобладающая толщина стенок отливки в см.

Усадку сплава в массивных тепловых узлах отливки компенсируют с помощью прибылей, устанавливаемых непосредственно над питаемым узлом (прямые прибыли) или сбоку (отводные прибыли). Для алюминиевых сплавов применяют прямые открытые (сообщающиеся с атмосферой) и отводные открытые и закрытые (глухие) прибыли. Прибыли должны иметь достаточный объем для компенсации усадки сплава в отливках и затвердевание позже питаемого теплового узла.

Объем прибыли (следовательно, ее размеры) устанавливают опытным путем и по номограммам в зависимости от объема узла, питаемого прибылью. Чрезмерное увеличение высоты прибыли за счет ее наращивания, применения высоких верхних опок и т. д. нецелесообразно, особенно при литье сплавов с широким интервалом кристаллизации.

Напор, создаваемый сплавом в прибыли, невелик из-за малой плотности алюминиевых и магниевых сплавов и недостаточен для пропитки мелких закрытых пор и капиллярных пустот. Время затвердевания прибыли должно быть на 40—50% больше времени затвердевания питаемого узла. Для этого применяют доливку в прибыль горячего сплава, подвод горячего сплава в прибыль из литниковой системы, утепление прибылей. Известно, что основные потери теплоты прибылью приходятся на теплоотдачу через стенки формы. Применение изоляционных вставок повышает эффективность работы прибылей.

3. МОДЕЛЬНО-ОПОЧНАЯ ОСНАСТКА

На основании технологических разработок (разделы 1 и 2) производят конструирование и изготовление модельного комплекта: моделей, модельных плит, стержневых ящиков, элементов литниково-прибыльной системы, шаблонов для сборки и установки стержней.

При проектировании определяют конструкцию и размеры отдельных частей модельного комплекта, материал, способ соединения частей модели и разрабатывают меры по предотвращению быстрого износа моделей.

Модели изготовляют деревянными, металлическими, комбинированными (деревянные с металлическими частями), пластмассовыми.

Деревянные модели широко применяют в единичном и мелкосерийном производстве для ручной и машинной формовки.

По прочности деревянные модели подразделяют на три класса. Модели первого класса обеспечивают получение сотен и тысяч съемов при ручной и машинной формовке, их применяют в серийном производстве. Модели и стержневые ящики изготовляют из первосортной древесины, тонкие части — из алюминия. Отъемные части устанавливают на металлических клиньях типа «ласточкина хвоста».

Модели второго класса обеспечивают получение десятков и сотен съемов; они применяются в мелкосерийном производстве для ручной формовки. Изготовляют их из обычных пород древесины. Отъемные части устанавливают на деревянных клиньях.

Модели третьего класса применяют для ручной индивидуальной формовки. Изготовляют их из низких сортов древесины. Отъемные части устанавливают на шпильках.

Для защиты деревянных моделей от влаги и уменьшения прилипаемости к ним формовочной смеси их окрашивают нитролаками. Предварительно производят грунтовку поверхности модели. В качестве грунта применяют олифу с добавкой красящих веществ (наполнителей), кото-

рые придают грунту большую стойкость против проникновения влаги. В качестве наполнителя используют свинцовый крон (желтая краска) или свинцовый сурик (красная краска)

Поверхности моделей, соответствующие поверхностям отливок, окрашивают в желтый или красный цвет, стержневые знаки — в черный.

Чтобы предотвратить износ деревянных моделей, используемых для машинной формовки, их поверхности подвергают металлизации. Материалом для металлизации служит проволока диаметром 2,5 мм из алюминиевого сплава (Al + 3% Mn), латуни или оловянной бронзы. Покрытие наносят с помощью металлизационного пистолета равномерными слоями толщиной 0,05 мм. Для лучшего сцепления обезжиренную деревянную поверхность модели предварительно покрывают слоем цинка (0,05 мм).

Металлические модели применяют в серийном, крупносерийном и массовом производстве отливок. Их основными преимуществами по сравнению с деревянными моделями являются долговечность, большая точность размеров и чистота поверхности.

По металлическим моделям можно выполнить десятки тысяч форм. В качестве материала для изготовления металлических моделей используют в основном алюминиевые сплавы, иногда серый чугун или бронзу. Металлические модели делают обычно полыми и тонкостенными, толщина стенок модели должна быть не меньше указанной в табл. 3.5.

3.5. Толщина стенки металлических моделей в мм

Средний габаритный размер модели (длина + ширина) 2 в мм	Сплавы		
	алюминиевые	бронзы	чугун
До 200	6—7	4—7	5,0—6,5
201—400	7,0—8,5	6—7	6,5—7,5
401—600	8,5—10,0	7—8	7,5—8,5
601—800	10—11	8—9	8,5—9,5
801—1000	11—12	9—10	9,5—11,0
1001—1200	12—13	10—11	11—12
1201—1400	13—14	11,0—11,5	12—13
1401—1600	14—15	11,5—12,5	13—14
1601—1800	15—16	12,5—13,5	14—15
1801—2000	16,5—18,0	13,5—14,5	15—16

Примечание. Толщина ребер составляет 80—100% толщины стенки модели.

При машинной формовке (а в некоторых случаях и при ручной) модели укрепляют на одно- или двусторонних модельных плитах. Модельные плиты могут быть деревянными с металлическими проушинами и бронированными полосами в местах контакта с опокой, алюминиевыми и чугунными. При мелкосерийном производстве отливок модельные плиты на формовочных машинах приходится часто менять, что снижает производительность труда. В этом случае следует использовать быстросменные и координатные модельные плиты.

Конструкция быстросменной оснастки приведена на рис. 3.6. Подопочную плиту 1 крепят к столу 2 формовочной машины, на ней устанавливают сменную модельную плиту 4 с моделями 3, а затем с помощью

штырей опоку. Быстросменная оснастка делает машинную формовку рентабельной даже при изготовлении 10—15 форм.

Координатные плиты для установки и крепления моделей имеют базовые отверстия, причем расстояния между их осями равны. Каждое отверстие имеет свой шифр (буквенный и цифровой). Технологи заранее определяют координаты, по которым должны быть расположены части моделей и элементы литниковой системы. Модели на координатных плитах крепят разными способами; кроме того, плиты могут быть быстросменными. Координатные плиты позволяют производить быструю смену и точную установку моделей на плите, применять машинную формовку даже при изготовлении единичных отливок.

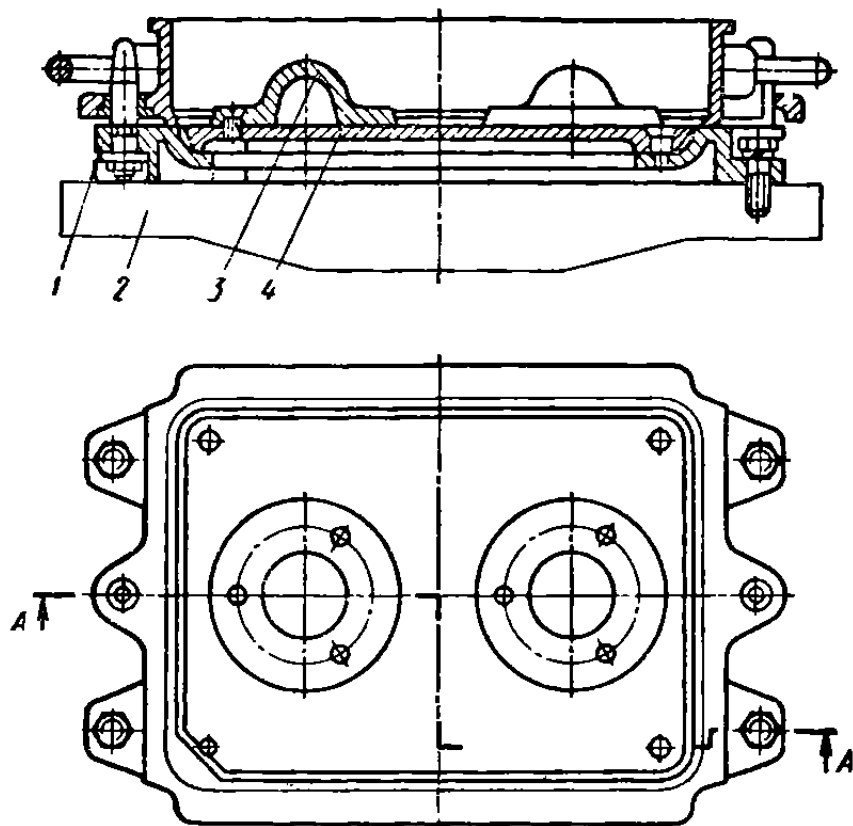


Рис. 3.6. Быстросменная модельная оснастка

В последние годы нашли применение модели, изготовленные из пластических масс на основе эпоксидных смол. Модели из пластических масс легче и дешевле металлических, однако уступают им по стойкости.

Стержневые ящики для единичного и мелкосерийного производства отливок изготавливают из дерева, для крупносерийного и массового производства — из металла и пластмасс. Основным материалом деревянных ящиков — сосна; вкладыши и внутренние контуры выполняют из бука, березы или ольхи. Наиболее изнашивающиеся части деревянных ящиков (кромки со стороны уплотнения, ребра, отъемные части) делают металлическими. Деревянные ящики применяют в основном для изготовления стержней вручную.

В ящиках из алюминиевых сплавов, приведенных на рис. 3.7, получают стержни на встряхивающих машинах.

Металлические ящики для изготовления стержней на пескодувных машинах отличаются наличием воздухоотводных отверстий (вент); кроме того, закрытые ящики имеют вдувные втулки для подачи в рабочую полость стержневой смеси (рис. 3.8). Изнашивающиеся поверх-

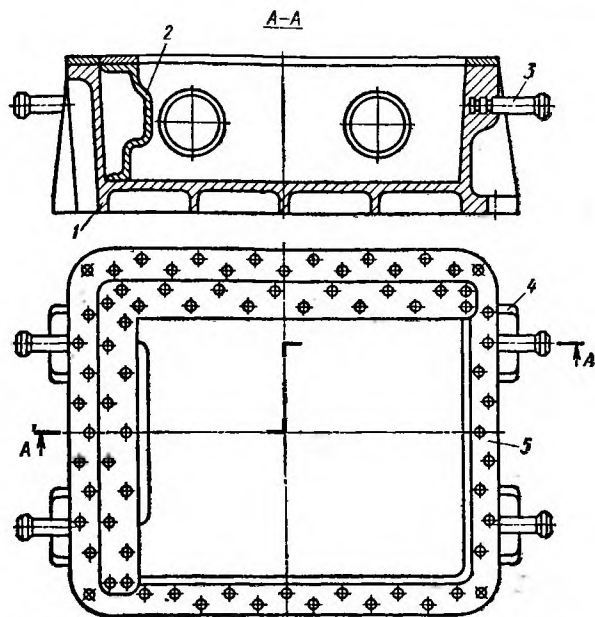


Рис. 3.7. Металлический ящик для встряхивающих машин: 1 — корпус; 2 — вкладыш; 3 — цапфа; 4 — приливы для крепления ящика к столу машины; 5 — броня

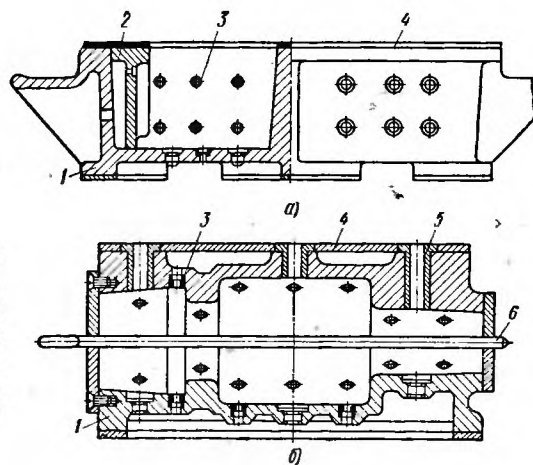


Рис. 3.8. Ящики для пескодувных машин; а — открытый встряхной; б — закрытый с горизонтальным разъемом; 1 — корпус ящика; 2 — вкладыш; 3 — венты; 4 — армровка ящика; 5 — дувная втулка; 6 — душник

ности ящиков (поверхности разъема) облицовывают стальным листом, на участках под вдувными отверстиями целесообразно устанавливать сменные износостойкие стальные или пластмассовые вставки. На плоскостях разъема предусматривают пазы для эластичных прокладок, препятствующих утечке воздуха. Венты (их число и расположение в ящике)

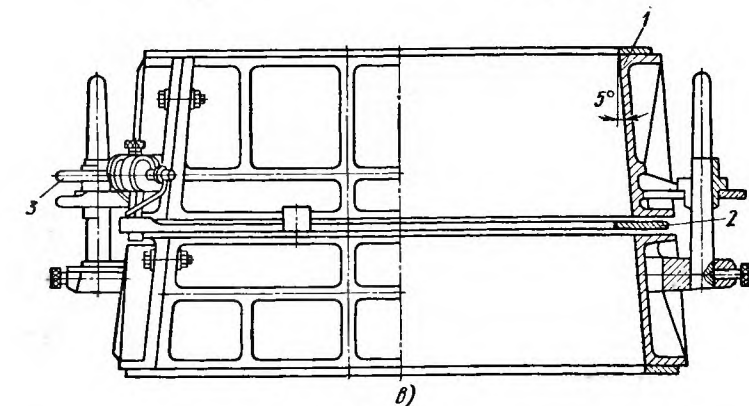
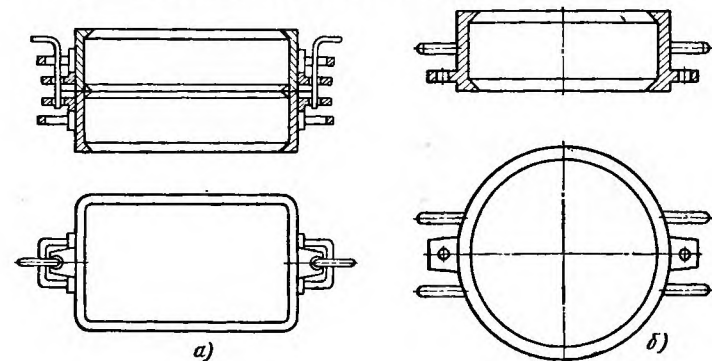


Рис. 3.9. Опочки

а — прямоугольная; б — круглая; в — коническая съемная для безоопасной формовки

должны обеспечивать быстрое удаление воздуха. Суммарное сечение площади вент должно составлять 25—50% суммарного сечения площади вдувных отверстий ящика. При пескострельном способе изготовления стержней следует предусматривать верхний отвод воздуха, чтобы избежать образования воздушной подушки, препятствующей уплотнению смеси.

Для изготовления форм вручную и на машинах применяют обычно литые опочки из алюминиевых сплавов (рис. 3.9). Стенки 1 конической съемной опочки для безоопасной формовки выполняют с уклоном 5°.

Подвижные планки 2 в плоскости разъема поддерживают смесь при подъеме и перемещении полуформ. После спаривания полуформ планки рычагом 3 выдвигаются наружу, обеспечивая свободный съём опок с формы.

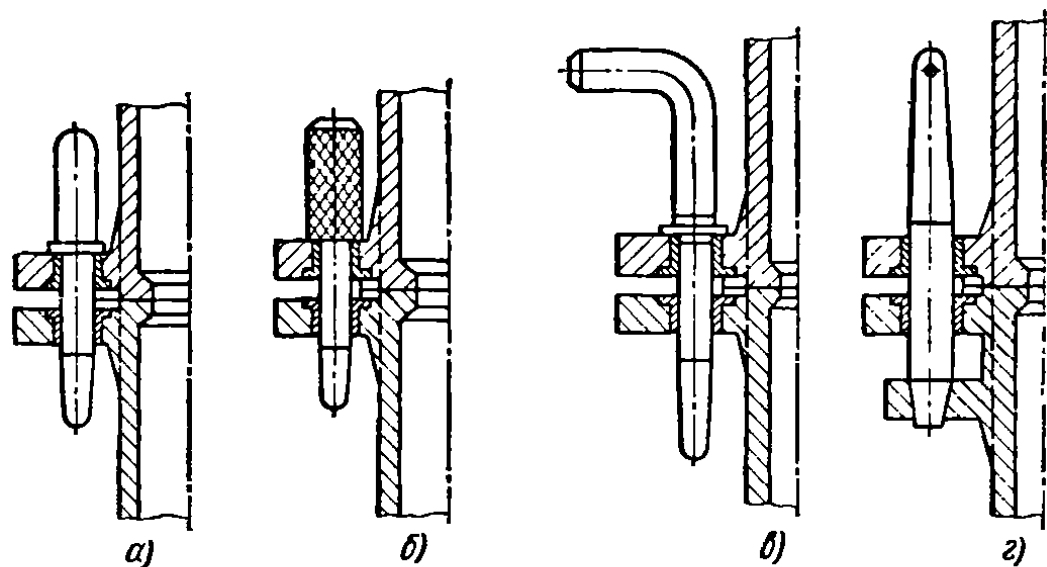


Рис. 3.10. Спаривающие штыри для сборки форм:

а — размерами до 500 мм; б — то же, до 1000 мм; в и г — крупных и высоких

Центрирование и спаривание опок производят закаленными стальными цилиндрическими штырями (рис. 3.10) с износостойкой шлифованной рабочей поверхностью.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ

Стержни изготовляют из смесей:

- 1) песчано-глинистых с последующей сушкой в печи;
- 2) песчано-смоляных с сушкой в нагретых ящиках;
- 3) на жидком стекле с сушкой по CO_2 -процессу;
- 4) из самотвердеющих с последующим сокращенным режимом сушки.

Технологический процесс изготовления стержней складывается из следующих операций: сборки ящика, установки каркасов (из проволоки, литых или сварных) и подвесок; наполнения и уплотнения смеси; удаления стержня; сушки, склейки, окраски, отделки и сборки стержней. В единичном производстве стержни изготовляют обычно вручную, в мелкосерийном отдельные операции могут быть механизированы, а в крупносерийном и массовом — автоматизированы.

Преимуществами изготовления стержней из песчано-глинистых смесей являются универсальность, легкость контроля и регулирования основных свойств, дешевизна связующих материалов. К основным недостаткам следует отнести возможное искажение размеров сырых стержней при их транспортировке и сушке, продолжительную сушку, потребность в площадях и оборудовании для сушки.

Перед формовкой ящик очищают от остатков сухой смеси щеткой и обдувают сжатым воздухом; проверяют наличие отъемных частей и легкость их удаления из ящика; рабочую поверхность ящика при-

пыливают разделительным составом (ликоподием или синтетическими припылами). При ручной формовке стержней для увеличения их прочности в ящике устанавливают литые каркасы (рамки) или связанные проволочные каркасы. Для каркасов используют стальную проволоку, предварительно отожженную с целью устранения ее пружинящего воздействия при уплотнении смеси.

В серийном производстве стержни изготавливают на машинах, в которых механизирован ряд технологических операций, а также используют высокопроизводительные полуавтоматические пескодувные и пескострельные установки.

Большое распространение получили пневматические встряхивающие стержневые машины модели 284М с перекидной плитой и вытяжным механизмом.

**Техническая характеристика
стержневой машины модели 284М**

Размеры стержневого ящика в мм	600×400×300
Производительность, стержней в час	До 50
Грузоподъемность в кгс	120
Рабочее давление воздуха в ат	5—7
Расход воздуха на одну формовку в м ³	0,25
Габаритные размеры в м	1,47×1,15×1,15
Масса в кг	1090

Пескодувные машины применяют в основном для изготовления стержней в ящиках с горизонтальным разъемом. Стержневые смеси для пескодувных машин должны обладать высокой текучестью и малой прочностью по-сырому ($<0,1$ кгс/см²), так как в противном случае возможно зависание смеси в бункере машины.

**Техническая характеристика
пескодувной машины модели С-216**

Наибольшая масса стержня в кг	До 10
Наибольшие размеры ящичков в мм	550×300×325
Производительность, стержней в час	120—200
Емкость рабочего резервуара в л	60
Расход воздуха на одну формовку в м ³	0,1
Габаритные размеры в м	1,65×0,78×2,56
Масса в кг	2000

На пескодувно-пескострельных машинах изготавливают стержни в ящиках с горизонтальным и вертикальным разрезами; возможно применение стержневых смесей с большей прочностью по-сырому ($>0,1$ кгс/см²), чем для пескодувных машин.

**Техническая характеристика
пескодувно-пескострельной стержневой машины модели 286М**

Наибольшая масса стержня в кг:	
при пескодувном резервуаре	12
при пескострельном резервуаре	6
Наибольшие размеры ящика в мм с разъемом:	
горизонтальным	450×450×240
вертикальным	450×310×240
Производительность, стержней в час	До 240
Емкость рабочего резервуара в л:	
пескодувного	24
пескострельного	10
Габаритные размеры в м	1,7×1,02×1,96
Масса в кг	1700

В серийном и массовом производстве отливок из легких сплавов широко применяют полуавтоматические стержневые установки, технические характеристики которых приведены в табл. 3.6.

3.6. Технические характеристики полуавтоматических стержневых установок

Модель установки	Принцип работы	Наибольшая масса стержня в кг	Наибольшие размеры стержневого ящика в мм	Производительность, число стержней в час	Габаритные размеры в м
28А8	Пескодувные	60	900×700×400	160	2,35×1,7×3,38
28А10		160	1100×900×500	100	1,86×2,56×3,4
348	Пескострельные	2,5	300×250×300	360	0,92×0,65×1,5
28Б1		1,0	250×150×180	360	0,68×0,43×1,0
28Б3		6,0	400×300×400	400	0,94×0,75×2,0
28Б5		16	630×500×445	200	1,56×1,1×2,7
28Б7		40	800×630×500	160	2,28×1,81×3,54
28Б9		100	1000×800×555	100	2,4×1,81×3,75

Пескострельная машина модели 348 показана на рис. 3.11. На станине 2 смонтирован подъемный стол 3 с пневматическим зажимом 7. На передней стенке пескострельной головки 8 находится пусковая кнопка 10 и манометр 12. На задней стенке головки смонтирован комбинированный клапан 11; сверху установлены пневмоцилиндр 13 шибера и лоток 16 с пневмовибратором 17. Лоток крепят к головке с помощью резиновых амортизаторов 14 и резиновой втулки 15. На входе воздушной магистрали установлен влагоотделитель 6. Для доступа к пневмоаппаратуре служит крышка 4, которую крепят к станине винтом 5. Для отключения вибратора предусмотрен кран 9, а для спуска воды и воздуха из пескострельной головки по окончании работы машины — кран 1.

Схема работы машины модели 348 показана на рис. 3.12. После установки ящика 8 на стол 9 закрывается шибер 3 поршнем 15, ящик зажимается пневмотисками 7 (если ящик имеет вертикальный разъем), поджим его снизу осуществляется с помощью цилиндра 10 к насадке 6. После закрытия шибера открывается вдувной клапан 12; сжатый воздух из полости 11 через щели 4 поступает в рабочий резервуар 5 и захватывает стержневую смесь — происходит «выстрел». При перемещении поршня 14 влево закрывается вдувной клапан и открывается выходной клапан 13, избыточный воздух из рабочего резервуара выходит в атмосферу. Затем ящик освобождается от зажимов, опускается стол, открывается шибер и включается пневмовибратор 2. Смесь из бункера 1 поступает в рабочий резервуар. Вручную производят только установку и съем ящика и удаление стержня.

В паре с высокопроизводительными установками могут работать поворотные-вытяжные стержневые машины (моделей 28П6, 28П8, 28П10),

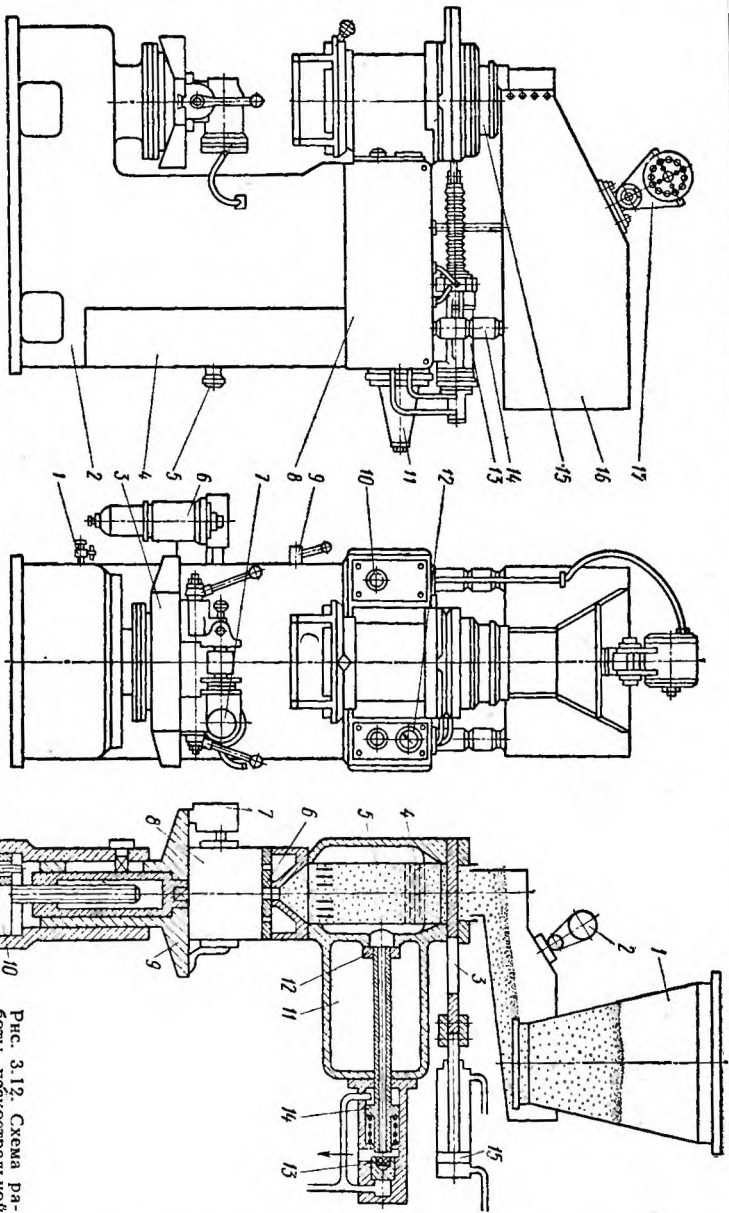


Рис. 3.11. Пескоструельная машина модели 348.

Рис. 3.12. Схема ра-
боты пескоструельной
машины модели 348

3.7. Типовые составы¹ литейных красок в ч. по массе

Марка краски	Мел	Тальк или гра- фит	Цирконовый обезжелезен- ный концентрат	Крепитель М	10—12%-ный раствор ПВС	Связующее ПБ или ПК-104	2%-ный поливи- нлбутиральный лак	Эфиральдегид- ная фракция	Керосин	Калий борфто- ристоводород- ный	Борная кислота	Вода	Назначение краски
КР-10 КР-2	10—13 —	7—10 —	— 40—50	10—25 —	— 10—15	— —	— —	— —	— —	— —	3—5 3—5	50—67 30—47	Окраска стержней для литья из магниевых и алюминиевомагниевых сплавов
КР-3 КР-4	— 5—10	— —	40—50 —	— 20—25	10—15 —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	35—50 65—75	Окраска стержней для литья из алюминие- вых сплавов
КР-5 КР-6	— —	20—30 —	— 25—35	— —	— —	1,5—2 —	— 60—67	65—72 —	0,5 —	— 5	3—5 3	— —	Окраска форм и стержней для литья из магниевых сплавов
КР-7 КР-8	— —	20—30 —	— 50—60	— —	— —	1,5—2 —	— 40—50	67—76 —	0,5 —	— —	— —	— —	Окраска форм и стержней для литья из алюминиевых сплавов

¹ Данные И. Ф. Колобнева и В. В. Крымова.

производящие кантовку ящиков с сушильными плитами и извлечение стержней после надува на пескодувных или пескострельных машинах.

Стержни для упрочнения и уменьшения их газотворной способности подвергают сушке. Температура сушки зависит от типа связующего. Ниже приведены оптимальные температуры сушки стержней с различными связующими.

Связующее	4ГУ	П, ПТ или КО	М, М-2, декстрин	ЛКБЖ	ПВС
Температура сушки в °С	200—230	220—240	180—200	180—220	200—220

Продолжительность сушки зависит от массы и размеров стержней, применяемого сушильного агрегата и устанавливается обычно опытным путем. В единичном и мелкосерийном производстве используют камерные сушила периодического действия. Они позволяют быстро перестраивать технологический процесс сушки с одного температурного режима на другой в зависимости от конфигурации и размеров стержней, однако имеют низкий к. п. д. В крупносерийном и массовом производстве применяют сушила непрерывного действия: горизонтальные и вертикальные

Для улучшения поверхности отливок стержни рекомендуются красить специальными литейными красками, состав которых приведен в табл. 3.7. Окрашенные стержни подвергают сушке. Сырые стержни опрыскивают раствором связующего с добавками мела, талька, графита, борной кислоты (для магниевых сплавов).

При спаривании половин и сборке стержней применяют специальные клеи, обеспечивающие прочность соединяемых поверхностей не ниже прочности стержней после сушки (табл. 3.8).

Для заделки швов и натирки сухих стержней применяют специальные пасты. Примерный состав паст (в частях по массе) следующий:

- 1) для заделки швов и поврежденных участков стержня: 50 талька, 50 полужирного песка, 20—30 воды и 1 сульфидной барды (сверх 100%);
- 2) для натирки стержней с целью улучшения внутренней поверхности отливок: 50 талька, 35 чешуйчатого графита, 15 огнеупорной глины, 30—50 (сверх 100%) воды.

Пасты для стержней магниевых отливок должны содержать дополнительно 3—6% борной кислоты.

Сухие стержни после окраски, склеивания и нанесения пасты подвергают подсушке. Чтобы избежать конденсации влаги, стержни нужно ставить в форму только после охлаждения.

3.8. Типовые составы клеев в ч. по массе

Клей	Огнеупорная глина	Связующие		Декстрин	Жидкое стекло	Вода (сверх 100%)
		ЛКБЖ	4ГУ			
1	50—60	50—40	—	—	—	20—30
2	50—60	—	—	50—40	—	50—63
3	40—50	50—40	10	—	—	20—30
4	40—45	—	—	—	60—55	—

Оболочковые стержни

По сравнению со стержнями из обычных смесей оболочковые стержни из песчано-смоляных смесей обладают более высокой точностью размеров, большей прочностью ($\sigma_B = 20 \div 25$ кгс/см²), повышенной газопробивностью, негигроскопичностью. Они быстро просушиваются и легко выбиваются из отливки.

В условиях серийного производства отливок процесс изготовления оболочковых стержней сравнительно легко поддается механизации и автоматизации.

Недостатками оболочковых стержней являются высокая стоимость связующих материалов и задалживание ящиков на время спекания стержней.

Оболочковые стержни следует изготавливать из лакированного (осмоленного) песка. При этом снижаются затраты на связующие материалы, оздоравливаются условия труда, появляется возможность производить набивку стержней на пескодувных и пескострельных машинах.

Рекомендуемые составы лакированных песчано-смоляных смесей приведены в табл. 3.9. Для приготовления лакированных смесей применяют лопатные смесители СМ100 или СМ400. В очищенный от остатков предыдущего состава смеситель засыпают предварительно подогретый до 80—100° С песок и другие сыпучие материалы, кроме уротропина. После равномерного перемешивания в течение 1—2 мин вводят раствор смолы, затем катализатор — уротропин и вновь перемешивают состав до получения сыпучей смеси. Приготовленную смесь просеивают через сито с размером ячейки 0,5—1 мм. Хранить лакированный песок следует в условиях, исключающих увлажнение, загрязнение и нагрев выше 30° С. Продолжительность хранения не ограничена.

Для формирования оболочкового стержня необходим нагрев ящика, поэтому ящики обычно изготавливают из чугуна СЧ 18-36, СЧ 21-40 или алюминиевых сплавов. Конструкция ящиков должна быть жесткой, чтобы избежать коробления при нагреве. Ящики из алюминиевых сплавов следует подвергать высокотемпературному старению или стабилизирующему отжигу. Для получения равномерной оболочки (по толщине) требуется равномерный нагрев всех участков, поэтому при конструировании ящика следует предусматривать одинаковую толщину его стенок. Нагрев ящиков производят разными способами: в печах; установкой нагревательных элементов внутри самого ящика; электрообогревательными устройствами, смонтированными на машинах.

Современные высокопроизводительные установки оборудованы устройствами для автоматического подогрева и регулирования температуры стержневых ящиков.

До начала формовки стержневой ящик очищают от остатков смеси продувкой сжатым воздухом и устанавливают холодильники. Рабочие поверхности ящика покрывают разделительным составом (СКТ-Р, СКТ-2, СКТ-3), чтобы предупредить прилипаемость и облегчить извлечение стержня.

Ящики наполняют свободной засыпкой или с помощью надува воздухом под давлением 5—6 ат. В единичном и опытном производстве обычно применяют свободную засыпку вручную или с помощью верхнего бункера, для мелких ящиков — поворотный бункер. Формирование оболочки происходит в результате контакта лакированного песка с рабочей поверхностью ящика, нагретого до температуры 220—260° С.

**3.9. Типовые составы¹ лакированных смесей
для стержней алюминиевых и магниевых отливок в ч. по массе**

Смесь	Песок К01А (К01Б) или К0063А	Песок К02А (К02Б) или К016А (К016Б)	Песок цирконо- вый	Серный колче- дан флотацион- ный	Раствор смолы 180	Уротропин	Борная кислота	Назначение
1	100	—	—	—	5—9,5 (2—4)	0,2—0,4	—	Стержни отливок из алюми- ниевых сплавов
2	60— 70	40— 30	—	—	5—9,5 (2—4)	0,2—0,4	—	
3	—	—	100	—	3,5—4,5 (1,5—2)	0,15—0,2	—	
4	—	100	—	—	5—9,5 (2—4)	0,2—0,4	0,5	Стержни отливок из алюми- ниевых магниевых сплавов
5	95— 97	—	—	5—3	8,5—11 (3,5—4,5)	0,35—0,45	0,25	Стержни отливок из магниевых сплавов
6	—	—	95— 97	5—3	3,5—4,5 (1,5—2)	0,15—0,2	0,25	
7	—	95— 97	—	5—3	7—10 (3—4)	0,3—0,4	0,25	

Примечания: 1. В скобках указано содержание смолы 180 в % (в пересчете на сухую).

2. Во всех смесях содержится стеарат кальция в количестве 0,01 ч. по массе.

3. При отсутствии смолы 180 можно применять pulverбакелит в виде раствора в эфиральдегидной фракции или в этиловом спирте.

¹ Данные В. В. Крымова

Смесь выдерживают в ящике в течение 20—30 с для образования полутвердой оболочки толщиной 5—7 мм, затем излишек смеси ссыпают, а ящик подают в печь для окончательного затвердевания стержня при температуре 350—400° С в течение 2—3 мин.

В современных пескодувных установках, применяемых в серийном производстве, загрузка смеси в рабочий бункер, подогрев стержневого ящика, формообразование и затвердевание оболочкового стержня, отсос излишка смеси, извлечение стержня и другие вспомогательные операции частично или полностью автоматизированы.

Изготовление стержней по СО₂-процессу заключается в том, что смеси на жидком стекле затвердевают непосредственно в стержневых ящиках при продувке углекислым газом. Для повышения прочности стержни можно дополнительно подсушивать в печи. Преимуществами изготовления стержней по СО₂-процессу являются получение достаточно прочных и точных стержней без сушки, возможность немедленного использования стержня.

Основные недостатки CO_2 -процесса: пониженная текучесть, малая живучесть жидкостекольных смесей и их плохая выбиваемость.

Для изготовления стержней по CO_2 -процессу применяют деревянные и металлические ящики. Жидкостекольные смеси обладают повышенной прилипаемостью, что ухудшает поверхность стержней. Поэтому рабочую поверхность деревянных ящиков следует покрывать нитролаком, а на рабочую поверхность металлических ящиков наносить покрытие из смеси эпоксидной смолы с графитом. Для этого ящик нагревают до $120\text{--}150^\circ\text{C}$, наносят слой смолы и выдерживают в печи в течение 30 мин. Затем рабочую поверхность покрывают эпоксидной смесью и просушивают, повторяя эту операцию несколько раз. Образующееся покрытие является прочным и износостойким. Жидкостекольная смесь к нему не прилипает.

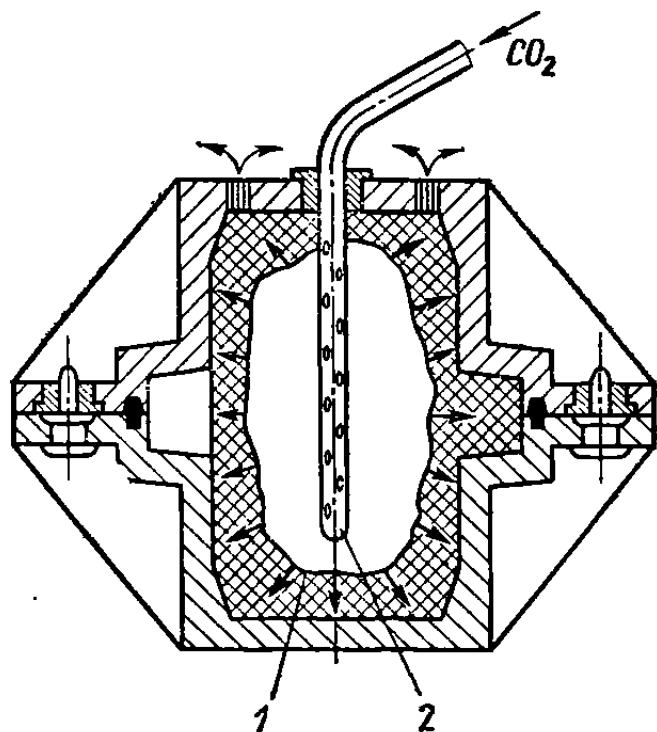


Рис. 3.13. Схема изготовления полых стержней по CO_2 -процессу:

1 — диафрагма; 2 — трубка с отверстиями

Смеси на жидком стекле применяют для изготовления стержней III группы сложности. Простейшая установка для сушки стержней в ящике состоит из баллона с углекислым газом, снабженного редуктором для понижения давления, соединительного шланга и коллектора с трубками. Рабочее давление углекислого газа на выходе из каждой трубки должно быть $0,5\text{--}1,0$ ат. Трубки коллектора вставляют в наколы знаковой части стержня, открывают краны штуцеров, соединяющих коллектор со шлангом и каждую трубку с коллектором, и пропускают углекислый газ до полного затвердевания стержня. Качество продувки оценивают визуально. Следует учитывать, что перепродувка приводит к повышенной осыпаемости стержня. О перепродувке свидетельствует появление белого налета на поверхности стержня. По мере затвердевания отдельных участков трубки отключают с помощью кранов и переставляют на другие участки. Однако желательно применять коллекторы с необходимым числом трубок для одновременной просушки всего объема стержня. При исправлении сухих стержней поврежденное место смачивают раствором жидкого стекла с водой (50 : 50) и наносят свежую смесь, затем поверхность стержня подсушивают в печи при температуре $80\text{--}100^\circ\text{C}$ в течение нескольких минут.

Для изготовления полых стержней применяют вставки в стержневых ящиках или резиновых прессующих диафрагмы. Схема изготовления полых стержней по CO_2 -процессу с применением диафрагмы показана на рис. 3.13. Углекислый газ под давлением $5\text{--}6$ ат через отверстия в трубке поступает в резиновую диафрагму с большим числом мелких (с булавочную головку) отверстий. Вначале диафрагма раздувается и

выпрессовывает внутреннюю полость, затем отверстия в ней расширяются, и газ начинает проникать в стенки стержня, высушивая его.

Изготовление стержней по CO_2 -процессу легко поддается механизации и частично автоматизации. В серийном производстве для изготовления стержней широко применяют пескоструйные многопозиционные установки.

Стержни, изготовленные на жидкостекольной смеси с подсушкой только углекислым газом, имеют относительно низкий предел прочности (до $3,5 \text{ кгс/см}^2$). Для увеличения прочности стержней (особенно крупных) их следует дополнительно подсушивать в печи или токами высокой частоты. При этом выбиваемость сплошных стержней сильно ухудшается.

В настоящее время широко осваивают и внедряют в производство стержни из самотвердеющих на воздухе смесей, а также из смесей, твердение которых происходит за короткое время в нагретых до температуры $200\text{--}250^\circ \text{C}$ стержневых металлических (чугунных или алюминиевых) ящиках. В качестве связующего для быстротвердеющих смесей используют мочевиноформальдегидные (УКС, МФС-1 и др.) и фенолформальдегидные (ПК-104 и др.) смолы. Стержневые смеси со связующим на основе мочевиноформальдегидных смол упрочняются только под воздействием катализаторов (отвердителей), обладающих кислотными свойствами: кислоты, кислые соли, хлориды щелочных и щелочноземельных металлов и т. п. Примерный состав смесей: кварцевый песок — 100%, смола — 1—3% (от массы песка), катализатор — 0,2—0,5%. Стержни из этих смесей в ящиках, нагретых до температуры 200°C , затвердевают за несколько секунд, а затем окончательно упрочняются на воздухе.

Под воздействием модификаторов существенно изменяются физико-химические свойства песчано-смоляных смесей, что позволяет получать новые стержневые материалы, обладающие повышенными технологическими и механическими свойствами. Смеси на мочевиноформальдегидных смолах, модифицированных фуриловым спиртом (20—80%), быстро отверждаются под воздействием тепла, а при введении кислого катализатора (фосфорная или щавелевая кислоты, хлористый аммоний) самоупрочняются при комнатной температуре, при этом стержни приобретают высокую прочность на воздухе (без нагрева и сушки) за сравнительно короткое время. Для ускорения процесса затвердевания стержней и освобождения стержневого ящика металлические ящики следует подогревать до температуры $30\text{--}50^\circ \text{C}$.

Стержни из самотвердеющих смесей легко выбиваются из алюминиевых и магниевых отливок; образуют в них чистые внутренние поверхности. Недостатки таких смесей — их малая живучесть (3—7 ч) и высокая стоимость смол.

Для изготовления стержней в горячих ящиках в серийном производстве применяют высокопроизводительные полу- и автоматические многопозиционные установки. На базе серийно выпускаемого пескострельного полуавтомата модели 2Б83 создан двухпозиционный стержневой полуавтомат модели 4554Б2, принцип работы которого основан на пескострельном заполнении горячих стержневых ящиков быстротвердеющей песчано-смоляной смесью сверху, в знаковые части стержня. Машина оборудована навесными секциями с нагревательными элементами, в которые встроены стержневые ящики с вертикальным разъемом. Спаривание и протяжка ящиков производятся с помощью пневмоцилиндров.

В последнее время все большее применение находят жидкие само-твердеющие стержневые смеси (ЖСС) с терморреактивными смолами в качестве связующего. В состав таких смесей входят сыпучие компоненты и жидкие композиции, которые, разобщая зерна песка, умень-

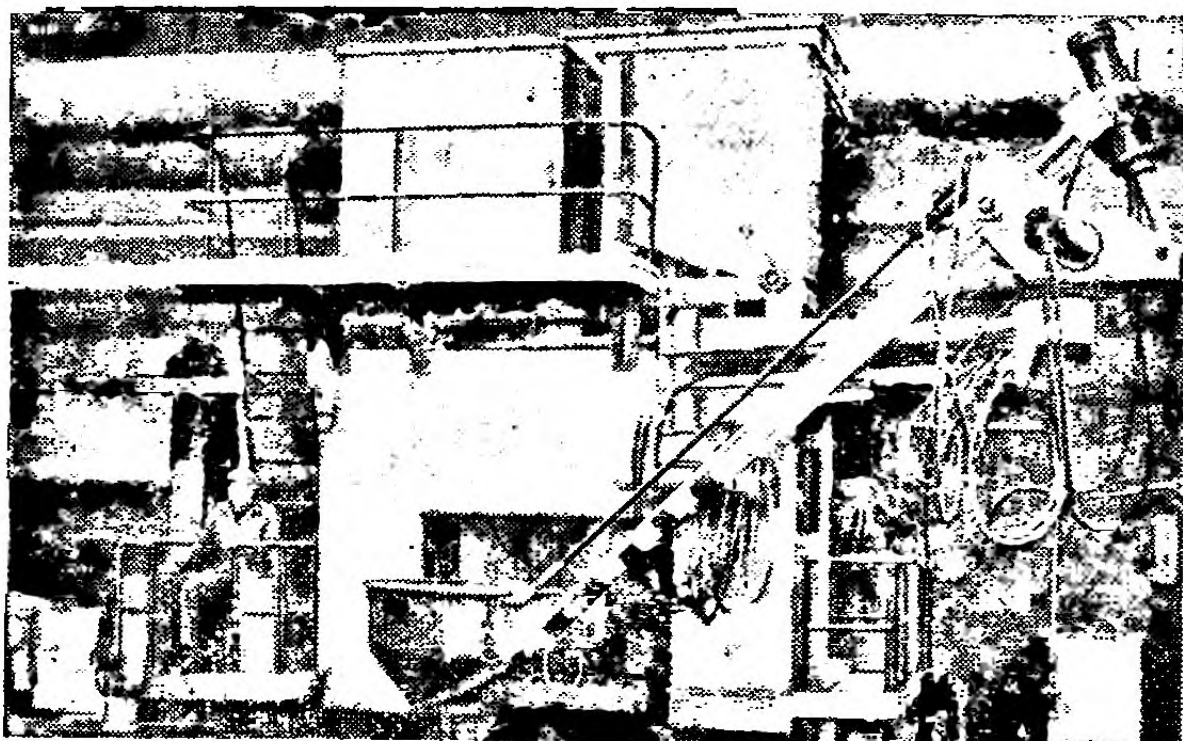


Рис. 3.14. Установка для приготовления смесей ЖСС

шают трение и увеличивают текучесть смеси, что способствует хорошему заполнению и четкому оформлению поверхностей стержневого ящика. На рис. 3.14 приведена установка для приготовления смеси ЖСС.

Применение ЖСС дает возможность значительно уменьшить трудоемкость изготовления стержней за счет ликвидации таких операций, как набивка, спаривание, сушка стержней; улучшает санитарно-гигиенические условия труда в стержневом отделении.

5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМ

Литейная форма обеспечивает требуемую конфигурацию и точность отливки, воспринимает силовые нагрузки и тепловое воздействие залитого сплава и остывающей отливки, обеспечивает требуемую чистоту поверхности без следов пригара. Из всего многообразия разовых песчаных форм наиболее широкое применение для алюминиевых и магниевых отливок получил песчано-глинистые формы, изготавливаемые в опоках вручную или машинным способом. Это обусловлено относительно небольшими габаритными размерами отливок, невысокой плотностью алюминиевых и магниевых сплавов и, следовательно, их небольшим силовым воздействием на форму, а также низкой температурой заливки сплавов ($680\text{--}780^\circ\text{C}$). Применяются также сухие стержневые и химически твердеющие формы.

При выборе и разработке технологических процессов изготовления литейных форм предпочтение следует отдавать таким процессам, при которых повышается качество, точность и чистота поверхности отливок, снижается трудоемкость изготовления форм; уменьшается расход формовочных материалов на 1 т литья, улучшаются условия труда. При этом главным критерием остается экономическая целесообразность применения того или иного процесса.

Качество отливок — плотность, прочность и пластичность (гарантируемые сплавом при соответствующей термической обработке) — обеспечивается созданием наиболее благоприятных условий заполнения формы сплавом и кристаллизации отливки. Такими условиями являются; сочетание максимальной объемной скорости заполнения формы сплавом и минимально необходимой линейной скорости отдельных его потоков (с целью предотвращения завихрений, захвата воздуха), а также последовательно направленная кристаллизация отливки — от пропитываемых узлов к питающим прибылям. Эти условия обеспечиваются правильным выбором типа, размеров и расположения литниковой системы, прибылей и холодильников. В каждом конкретном случае при выборе конструкции литниковой системы следует исходить из геометрии отливки и особенностей сплава.

В сплавах с узким интервалом кристаллизации (алюминиевые: АЛ2, АЛ9, АЛ4 и др.; магниевые: Мл2, Мл11) первичная кристаллизация заканчивается без образования сплошного скелета кристаллов, вследствие чего в этот период не происходит линейной усадки и не образуются усадочные напряжения. С момента кристаллизации эвтектики питающим веществом становится вся жидкость. Усадочные дефекты (раковины, поры, рыхлота) появляются в конечных стадиях кристаллизации. Так как кристаллизация эвтектики идет сплошным фронтом, а количества эвтектики вполне достаточно для заполнения междендритных пустот, то эти сплавы кристаллизуются с образованием концентрированной усадочной раковины в тепловых узлах отливки, затвердевающих в последнюю очередь.

Литниковые системы для сплавов этой группы должны обеспечивать спокойное заполнение формы сплавом. Основное условие получения качественных отливок — обеспечение последовательно направленной кристаллизации (снизу вверх) — достигается подводом металла в форму и постановкой холодильников в нижних тепловых узлах формы и массивных прибылей над верхними тепловыми узлами отливки.

Сплавы второй группы (алюминиевые: АЛ7, АЛ8, АЛ19 и др.; магниевые: Мл4, Мл6 и др.) кристаллизуются в широком интервале температур. Большая разница концентраций твердой и жидкой фаз приводит к быстрому разветвлению растущих дендритов в определенных кристаллографических направлениях, однако вследствие искажения состава жидкости они не могут утолщаться. В результате получаются сильно разветвленные тонкие дендриты, между осями которых остаются участки незакристаллизовавшейся жидкости. Это приводит к образованию рассеянной усадочной пористости, так как питание оставшейся жидкостью почти полностью изолированных участков затруднено. Так как сплавы кристаллизуются в широком температурном интервале и сплошной скелет из сросшихся дендритов образуется уже в начале кристаллизации, то отливки из сплавов этой группы испытывают усадочные напряжения, вызванные линейной усадкой, еще в полужидком

состоянии, когда прочность сплавов мала. Поэтому в отливках могут возникать горячие трещины, особенно при затрудненной усадке.

При разработке технологии литья деталей из сплавов типа твердых растворов следует применять рассредоточенный подвод металла в полость формы, чтобы избежать перегрева отдельных ее участков. Не рекомендуется простановка массивных высоких прибылей, так как эффект пропитки ими рассеянной усадочной пористости и рыхлоты незначителен из-за малого статического давления алюминиевых и магниевых сплавов, обладающих низкой плотностью. Наиболее выгодные условия кристаллизации создаются при таком тепловом режиме формы, который обеспечивает последовательно направленную кристаллизацию за счет применения холодильников (в том числе внутренних), специальных стержневых составов с высокой теплопроводностью, утепления прибылей и т. д.

Ручная формовка применяется в основном в единичном и мелкосерийном производстве отливок, когда изготовление оснастки для машинной формовки экономически нецелесообразно. Основные операции изготовления опочной сырой формы: набивка формы, извлечение модели, простановка стержней, сборка формы. Набивка форм вручную с помощью набоек и пневмотрамбовок обеспечивает необходимое равномерное уплотнение формовочной смеси по всему объему формы. Для легких сплавов (алюминиевых и магниевых), силовое воздействие которых на форму невелико, не рекомендуется чрезмерное уплотнение формы, так как при этом уменьшается ее газопроницаемость. Неравномерная набивка формы может привести к отслоению поверхностей, соприкасающихся с жидким сплавом, и образованию поверхностных дефектов в отливке. Естественная газопроницаемость формовочной смеси часто недостаточна для свободного удаления воздуха и газов из полости формы. Поэтому в форме (обычно в верхней половине) выполняют вентиляционные каналы в виде наколов, не доходящих до полости формы на 10—15 мм, или предусматривают установку выпоров (обычно над изолированными внутренними полостями — «карманами»). Такие же выпоры делают над знаковыми частями стержней.

Перед извлечением модели слабо набитые участки формы, а также выступающие части, расположенные в местах удара струи сплава о форму, упрочняют литейными шпильками. После извлечения модели и отъемных частей рабочую поверхность формы при необходимости окрашивают литейной краской, а затем подсушивают.

Простановку стержней в форму производят в последовательности, соответствующей порядковым номерам стержней по литейному чертежу. Не допускается простановка нагретых стержней, так как это может привести к конденсации влаги на их поверхности («отпотевание» стержней) и образованию внутренних дефектов в отливке. Правильность установки стержней контролируют с помощью металлических или фанерных шаблонов. Толщину тела отливки в доступных местах контролируют с помощью щупов.

После простановки стержней производят обдувку полуформ и их спаривание с помощью направляющих и фиксирующих штырей. Чтобы предотвратить протекание сплава по плоскости разъема, производят подрезку (рыхление) по контуру нижней полуформы с помощью ланцета или гладилки, или обкладывают контур тонким асбестовым шнуром. Во избежание подъема верхней полуформы и утечки сплава полуформы перед заливкой скрепляют скобами, струбцинами или наложением груза.

На рис. 3.15 показана схема литейной формы сложной отливки из сплава АЛ9 с применением комбинированной литниковой системы. В начале заливки сплав поступает в нижнюю часть формы через литниковый канал 1, выполненный в стержне № 2. Продолжением литника является технологическая стяжка 2, предохраняющая отливку от коробления. Таким образом, достигается спокойное заполнение нижней полости формы до линии разъема. Затем сплав заливают из второго ковша: через полукольцевой коллектор 5 и плоские широкие литники 4, соединенные с фланцем, заполняется верхняя часть формы. Утолщен-

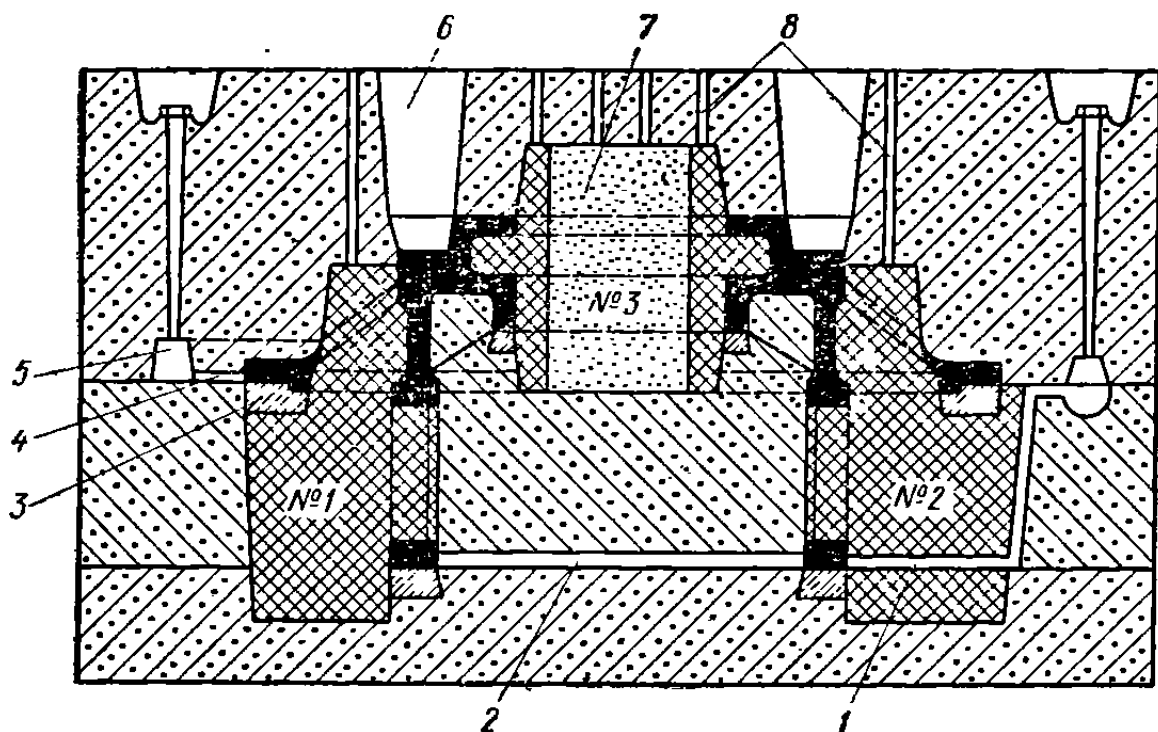


Рис. 3.15. Схема литейной формы для отливки сплава АЛ9

ный фланец охлаждается чугунными холодильниками 3, установленными в стержнях № 1 и № 2. Стержень № 3 — оболочковый пустотелый, после его простановки внутреннюю полость заполняют сухим песком 7. Массивные прибыли 6 обеспечивают надежную пропитку верхних тепловых узлов отливки. Для улучшения вентиляции в форме сделаны наколы 8.

В ряде случаев формы для сложных крупногабаритных отливок собирают в сухих стержнях, выполняющих как внутренние, так и внешние очертания отливки. Стержневые формы собирают обычно в специальных металлических жакетах, которые изготавливают из нормализованных элементов (плит, рам и т. п.).

Крупногабаритные отливки с несложными внутренними полостями можно изготовить с применением сырых стержней из обычной формовочной смеси. В этом случае точность отливок повышается, так как точность сырого стержня зависит только от качества изготовления стержневого ящика. Отпадают операции сушки, транспортировки и установки стержней.

На рис. 3.16 показана схема изготовления крупногабаритного тонкостенного оребренного корпуса из сплава АЛ5. Замена сухого стержня сырым позволила обеспечить необходимую точность размеров (особенно толщины стенок) и упростить технологию изготовления отливки. Сырой

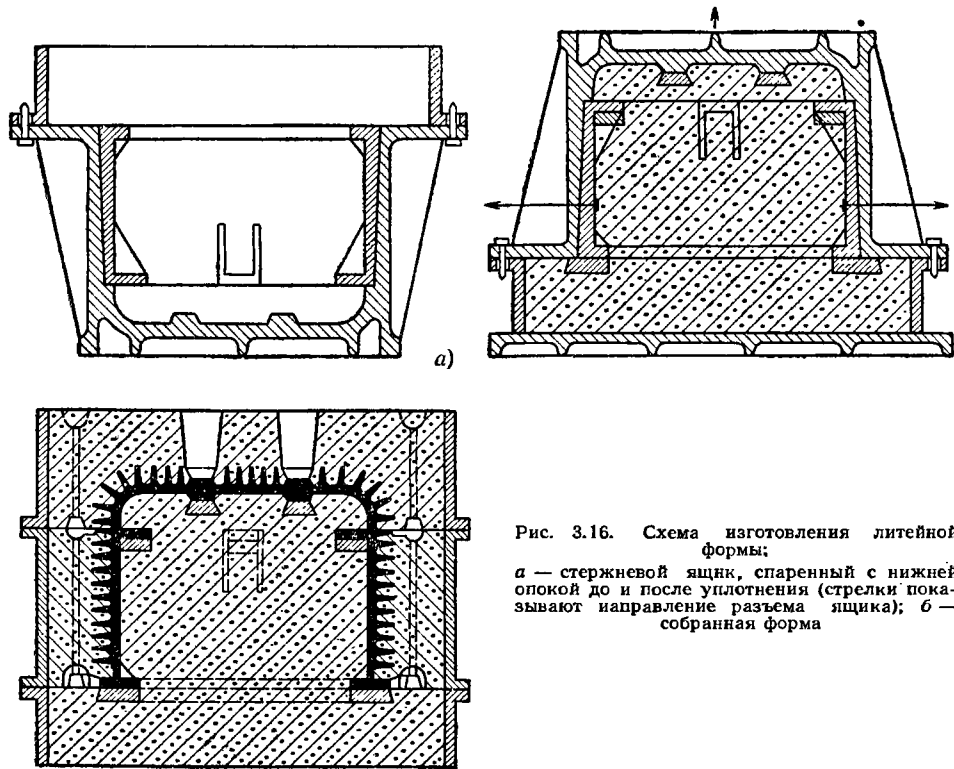


Рис. 3.16. Схема изготовления литейной формы;

a — стержневой ящик, спаренный с нижней опокой до и после уплотнения (стрелки показывают направление разъема ящика); *б* — собранная форма

стержень изготовляют из формовочной смеси в металлическом комбинированном (вытряхном с отъемными частями) стержневом ящике, спаренном с нижней опокой (рис. 3.16, а). Наружную часть формы выполняют в двух опоках по деревянной модели. Второй разъем позволяет применить ярусную литниковую систему, что обеспечивает благоприятные условия для заполнения формы и кристаллизации отливки. Стержневой ящик набивают вместе с нижней опокой, переворачивают и удаляют отъемные части (рис. 3.16, а). Собранный форма показана на рис. 3.16, б.

При машинной формовке основные операции изготовления литейных форм (уплотнение формовочной смеси, извлечение модели) и некоторые другие вспомогательные операции механизированы и автоматизированы. Машинная формовка сырых форм в опоках широко применяется в серийном и массовом производстве отливок. По способу уплотнения формовочной смеси формовочные машины подразделяются на прессовые с верхним и нижним прессованием, вибропрессовые, встряхивающие, встряхивающие с допрессовкой и пескометы. Извлечение моделей из форм производится с помощью различных механизмов, показанных на рис. 3.17.

На пневматических прессовых формовочных машинах изготовляют формы в опоках небольшой высоты — до 200 мм, так как прессование на них не обеспечивает равномерного уплотнения формовочной смеси. Прессовые машины изготавливают в основном с верхним прессованием, так как при нижнем прессовании усложняется конструкция машин и затрудняется переналадка при переходе на другой размер опок. Наибольшее применение нашли пневматические прессовые машины: 222 (верхнее прессование) и ПФ-3 (нижнее прессование).

Лучшее качество уплотнения формовочной смеси достигается при смещении прессования и вибрации, которая повышает текучесть смеси. Такой способ прессования производится на пневматических вибропрессовых машинах.

На рис. 3.18 показана вибропрессовая формовочная машина 226. Станина 1 машины является одновременно цилиндром 2 прессового поршня. Прессовый поршень, в свою очередь, служит цилиндром плунжера и направляющей гильзой хвостовика вибростола 5, на котором устанавливают модельную плиту и опоку. К станине прикреплен колонна 6, на которой смонтирована поворотная траверса 8 с прессовой плитой 7. На торце вибростола закреплен вибратор 4. Съем опоки производится с помощью штифтов 3. Привод механизмов машины пневматический, вытяжного устройства — пневмогидравлический. Управление прессованием, вытяжкой и вибратором при вытяжке осуществляется воздухораспределителем 9.

После выполнения подготовительных ручных операций: установки модельной плиты, опоки и наполнения ее формовочной смесью — нажатием коленного клапана машина приводится в действие. Сжатый воздух из воздушной сети поступает под плунжер, подбрасывает его; плунжер ударяет по хвостовику вибростола 5. Затем воздух быстро перемещает плунжер вниз и вновь подбрасывает его до удара с хвостовиком. Таким образом, происходит сильная вибрация, которая прекращается за несколько секунд до окончания подачи воздуха в машину.

Для осуществления прессования траверса 8 ставится в рабочее положение; рукояткой воздухораспределителя 9 включают сжатый воздух, поступающий под прессовый поршень. Поршень вместе со столом, на котором установлена модельная плита и опока, наполненная формовоч-

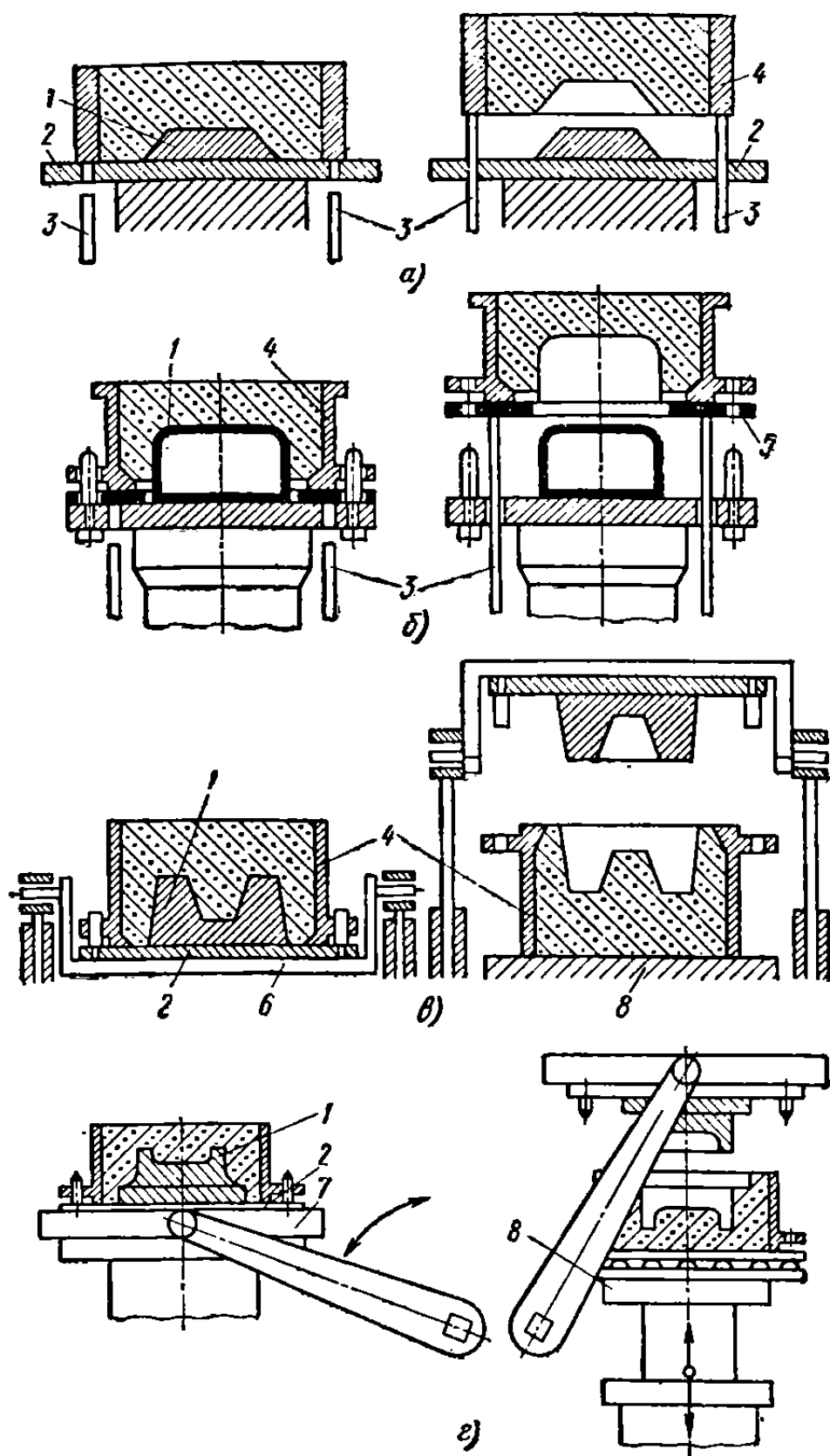


Рис. 3.17. Схемы механизмов извлечения модели из формы:
 а — штифтовым подъемом; б — протяжной рамкой; в — поворотной плитой; г — перекидным столом; 1 — модель; 2 — модельная плита; 3 — штифты; 4 — опока; 5 — протяжная рамка; 6 — поворотная плита; 7 — перекидной стол; 8 — приемный стол

ной смесью, поднимается вверх, и смесь спрессовывается в опоке прес-совою плитой 7. Обратным поворотом рукоятки воздухораспределителя воздух из-под поршня выпускается в атмосферу, а формовочный стол 5 опускается в исходное положение. Для извлечения модели (снятия опоки) рукоятку воздухораспределителя устанавливают на положение «Вытяжка». Сжатый воздух поступает в масляный резервуар, выдавливает масло под поршни цилиндров и поднимает их вместе со штифтами 3, на которых установлена опока. Одновременно автоматически включается вибратор 4, работа которого прекращается при подъеме штифтов на некоторую высоту. Опоку снимают со штифтов и подают на сборку.

На базе машины 226 созданы полуавтоматические вибропрессовые формовочные машины 91226 и 91226Б со штифтовым механизмом извлечения модели и верхним прессованием.

По сравнению со встряхивающими формовочными машинами прессовые машины работают с меньшим шумом и имеют более высокую производительность. Однако благодаря своей универсальности и простоте встряхивающие формовочные машины являются наиболее распространенными в литейных цехах.

Встряхивающие пневматические формовочные машины с перекидным столом применяются для изготовления нижних полуформ сложной конфигурации с большими выступами (болванами) и углублениями, требующими глубокой вытяжки. На рис. 3.19 показана конструкция встряхивающей машины с перекидным столом модели 234.

Основные узлы машины: встряхивающий механизм, поворотный механизм и механизм вытяжки—установлены на общем бетонном фундаменте. Для смягчения ударов встряхивающий механизм установлен на деревянной подкладке. Встряхивающий механизм представляет собой станину 3, внутри которой расположен цилиндр 1 со встряхивающим поршнем 2. Поршень соединен со столом 4, на котором установлена перекидная плита 5 с закрепленными на ней модельной плитой и опокой. Механизм поворота включает в себя горизонтальные цилиндры 9 и 10, смонтированные на уложенных в фундаменте горизонтальных брусках. Поршни цилиндров посредством шатунов и кривошипов воздействуют на поворотный вал 7, на котором закреплены поворотные подъемные рычаги 6. Механизм вытяжки состоит из вертикального цилиндра 11 с поршнем и стола 17 для приемных брусков. Ход стола вверх ограничивается тягами 12.

В фундаментном колодце установлены баллоны с маслом: 13 — для вытяжки модели; 14 — для поворота стола. Управление работой машины осуществляется при помощи рукоятки на колонке управления 15.

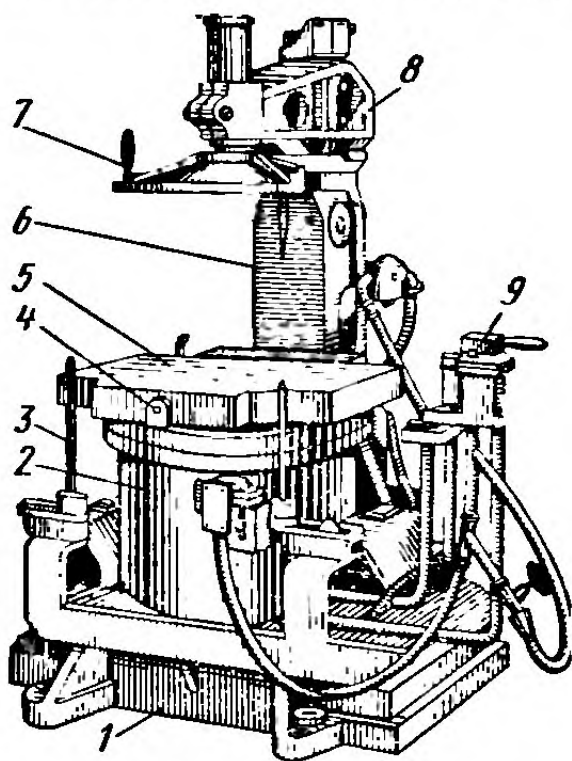


Рис. 3.18. Вибропрессовая формовочная машина модели 226

Порядок работы на машине следующий. На поворотной плите устанавливают и закрепляют опоку, заполняют ее формовочной смесью. Для уплотнения смеси включают механизм встряхивания. Сжатый воздух попадает в цилиндр 1 и поднимает поршень 2 со столом 4. На определенной высоте подъема перекрывается впускной клапан в цилиндре 1

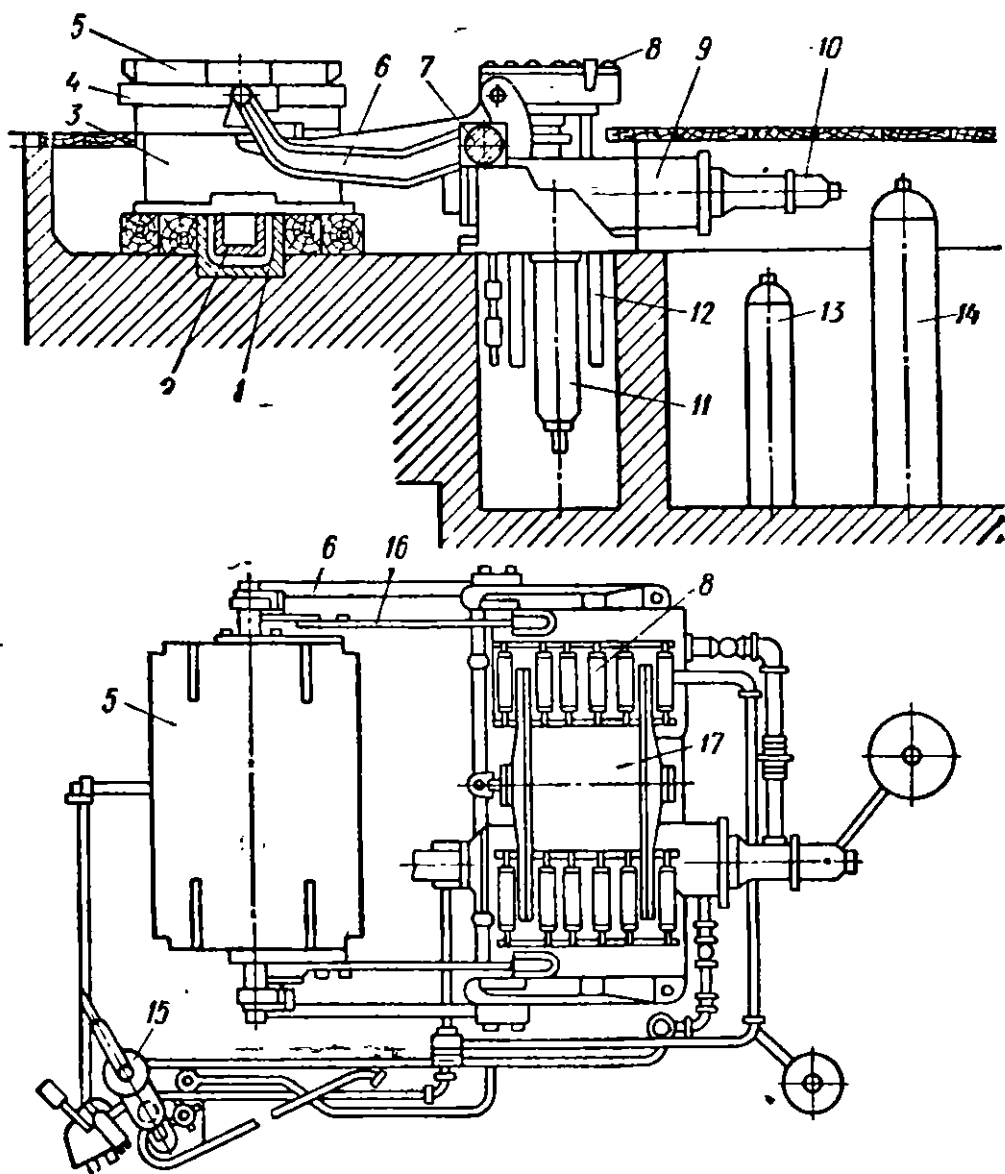


Рис. 3.19. Формовочная машина модели 234 с перекидным столом

и открывается выпускной клапан для выхода воздуха в атмосферу; стол падает и ударяется о резиновые амортизаторы станины 3. Вновь открывается впускной клапан цилиндра, и цикл повторяется. Встряхивание продолжается до достижения необходимой степени уплотнения, которая устанавливается опытным путем и контролируется с помощью счетчика ударов при встряхивании (в модернизированной машине 234М счетчик автоматически прекращает встряхивание при достижении необходимой степени уплотнения). Верхние слои формовочной смеси дополнительно уплотняют пневматическими трамбовками.

Для поворота стола машины сжатый воздух подается в баллон 14 и вытесняет масло под поршни горизонтальных цилиндров 9 и 10. Поршни посредством шатунов и кривошипов поворачивают вал 7. Поворотные рычаги 6, двигаясь вверх, увлекают за собой поворотную плиту 5 и при помощи тяг 16 поворачивают ее на 180°.

Для извлечения (вытяжки) модели сжатый воздух подают в баллон 13; воздух вытесняет масло в цилиндр вытяжки 11. Поршень цилиндра поднимается со столом 17, полуформа ложится на приемные брусья, которые фиксируются, обеспечивая необходимую параллельность плоскостей разъема опоки и подмодельной плиты при вытяжке. Опока открепляется от подмодельной плиты, стол 17 вместе с опокой опускается — происходит вытяжка модели из формы. При вытяжке работают вибраторы, размещенные внутри перекидной плиты, что облегчает извлечение модели. Опока опускается на приемный рольганг 8 и откатывается на цеховой рольганг, а перекидная плита 5 возвращается в исходное положение.

Основные технические характеристики пневматических встряхивающих формовочных машин с перекидным столом приведены в табл. 3.10.

Для изготовления верхних полуформ применяют пневматические встряхивающие формовочные машины со штифтовым съемом опок. Такие машины работают в паре с машинами 231, 232М, 233М, 234 и др. предназначенными для изготовления нижних полуформ.

3.10. Технические характеристики пневматических встряхивающих формовочных машин с перекидным столом

Модель машины	Наибольшие размеры опоки в мм		Производительность опок в час	Грузоподъемность в кгс	Число встряхиваний в минуту	Расход сжатого воздуха на 1 полуформу в м ³	Габаритные размеры в м	Масса в кг
	в свету	высота						
231	600 × 500	275	35—40	400	170	0,4	2 × 2 × 1	1 900
232М	800 × 700	450	40	600	150	1,0	2,5 × × 2,1 × × 1,5	4 000
233М	1000 × 800	400	15—20	1 320	125	2,0	3,7 × × 2,1 × × 2,1	7 000
234	1600 × × 1200	500	15	2 500	105	3,5	4,1 × × 3,1 × × 3,0	14 000
234М	1600 × × 1200	600	17	3 000	150	4,5	4,4 × × 3,1 × × 4,1	11 800
235	2000 × × 1600	600	10	5 000	75	8,0	5,1 × × 3,5 × × 4,8	21 200
236	2500 × × 2000	800	5	10 000	45	16,0	5,5 × × 5,2 × × 5,7	55 000
ЛН204	1200 × × 1000	500	17	2 000	200	2,8	3,3 × × 1,7 × × 2,5	11 700

На рис. 3.20 показана встряхивающая формовочная машина модели 242 со штифтовым съемом опок. Встряхивающий механизм представляет собой цилиндр с поршнем, расположенные в центральном гнезде станины 1. Поршень отливаеся вместе со встряхивающим столом 4, под которым размещены два вибратора для облегчения съема опоки. Продолжительность встряхивания регулируется автоматическим клапаном времени, который регулирует доступ сжатого воздуха из магистрали во встряхивающий цилиндр и выключает подачу воздуха через определенное, установленное технологией, время.

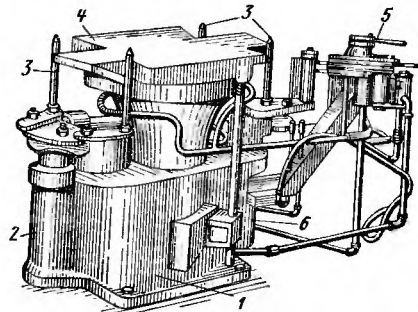


Рис. 3.20. Формовочная машина модели 242 со штифтовым съемом

Подъемный механизм включает в себя цилиндры 2 и 6 с поршнями, симметрично расположенные по бокам станины. На верхние концы штоков поршней надеты приемные брусья, связанные с подъемными штифтами 3. К подъемному механизму сжатый воздух поступает от воздухораспределителя 5, соединенного также посредством шлангов с вибраторами.

Технические характеристики встряхивающих формовочных машин со штифтовым съемом опок приведены в табл. 3.11.

Уплотнение формовочной смеси встряхиванием не обеспечивает необходимую плотность верхних слоев полуформы — приходится дополнительно вручную подтрамбовывать смесь сверху. Это снижает производительность встряхивающих формовочных машин. Отмеченный недостаток устранен в конструкциях встряхивающих машин, оборудованных механизмом прессования (допрессовки).

Схема конструкции пневматической встряхивающей формовочной машины с допрессовкой и поворотным столом показана на рис. 3.21.

3.11. Технические характеристики пневматических встряхивающих формовочных машин со штифтовым съемом опок

Модель	Наибольший размер опок в мм		Производительность опок в час	Грузоподъемность встряхивающего стола в кгс
	в свету	высота		
241	600×600	200	40—50	500
242	1300×660	250	30—40	700
243	1400×1000	400	20—30	1500
244	1600×1000	500	15	2500
ЛН203	1200×1000	500	20	2000

Машина состоит из трех основных механизмов: встряхивающего, прессующего и поворотного. Встряхивающий и прессующий механизмы установлены на станине 1. Центральная часть станины служит цилин-

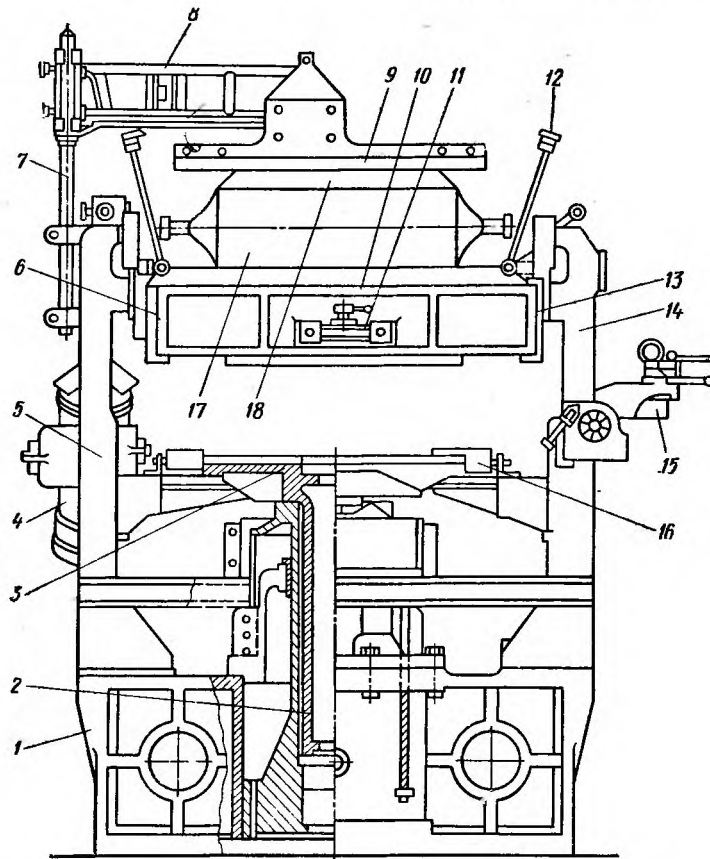


Рис. 3.21. Встряхивающая формовочная машина модели 254М с допрессовкой и поворотным столом

дром прессового поршня 2, который, в свою очередь, является цилиндром встряхивающего поршня, отлитого вместе со встряхивающим столом 3.

Основная часть поворотного механизма — цилиндр 4 и поворотный стол 10 с цапфами 6 и 13. Цапфы стола входят в пластины, установленные в вертикальных пазах стоек 5 и 14 станины. Такое устройство дает возможность столу поворачиваться на цапфах относительно горизон-

тальной оси, а также перемещаться (вместе с пластинами) по вертикали без поворота на величину хода встряхивания.

К стойке 5 на штанге 7 прикреплен скребок 9, который приводится в движение пневмоцилиндром 8.

Порядок работы на машине следующий: подмодельную плиту закрепляют на поворотном столе, устанавливают опоку 17, затем наполняют ее формовочной смесью. Поворотом рукоятки воздухораспределителя 15 включают встряхивание. При этом прессовый поршень 2 и встряхивающий стол 10 поднимаются до соприкосновения с поворотным столом. В конце хода прессовый поршень автоматически включает встряхивающий механизм.

После окончания встряхивания прессовый поршень опускается. Избыток формовочной смеси счищают с полуформы скребком 9, при этом оставляют необходимый для подпрессовки слой смеси 18. На полуформу накладывают подопочный щиток, закрепляют опоку со щитком пневмозажимами 12. Затем при помощи цилиндра 4 осуществляют поворот стола 10 на 180°.

Рукоятку воздухораспределителя 15 переводят на положение «Прессование», при этом прессовый поршень со столом 3 поднимается до упора в подопочный щиток и затем запрессовывает избыточный слой смеси 18 в опоку. Пневмозажимы раскрываются, включаются вибраторы 11, закрепленные на поворотном столе. Поворотом рукоятки воздухораспределителя в исходное положение плавно опускают поршень с опоккой и подопочным щитком (происходит вытяжка). В конце хода поршня щиток с опоккой опускаются на рольганг 16, и полуформу скатывают с машины. Поворотный стол возвращают в исходное положение.

Машины подобного типа применяют для изготовления нижних полуформ отливок среднего размера. Технические характеристики пневматических встряхивающих формовочных машин с допрессовкой и поворотным столом приведены в табл. 3.12.

3.12. Технические характеристики пневматических встряхивающих формовочных машин с допрессовкой и поворотным столом

Модель	Наибольшие размеры опок в мм		Производительность, опок в час	Грузоподъемность в кгс	Усилие прессования в кгс	Число встряхиваний в минуту	Расход воздуха на одну опоку в м ³	Габаритные размеры в м	Масса в кг
	в свету	высота							
253М	600×500	250	50	400	6 500	170	0,75	2×1,1× ×2,4	2300
254М	800×700	300	45	600	13 000	150	1,5	2,4× ×1,2× ×2,8	3800
255М	1000×800	350	40	900	16 500	110	2,3	2,5× ×1,4× ×3,3	4940
845	1200×800	450	15	1380	—	120	1,6	2,5× ×2,4× ×2,8	7200

Для изготовления верхних полуформ отливок среднего размера используют пневматические встряхивающие машины с допрессовкой и протяжной рамкой. Формовочная машина этого типа 2М265 показана на рис. 3.22. Все три механизма машины: встряхивающий, прессовый и вытяжной — смонтированы на общей станине 1. На ней же расположена колонна 2 поворотной траверсы 4 и упорная стойка 11. Управление работой машины производится с помощью колонки 10, на которой размещены: механизм счетчика ударов, воздухораспределители (для пово-

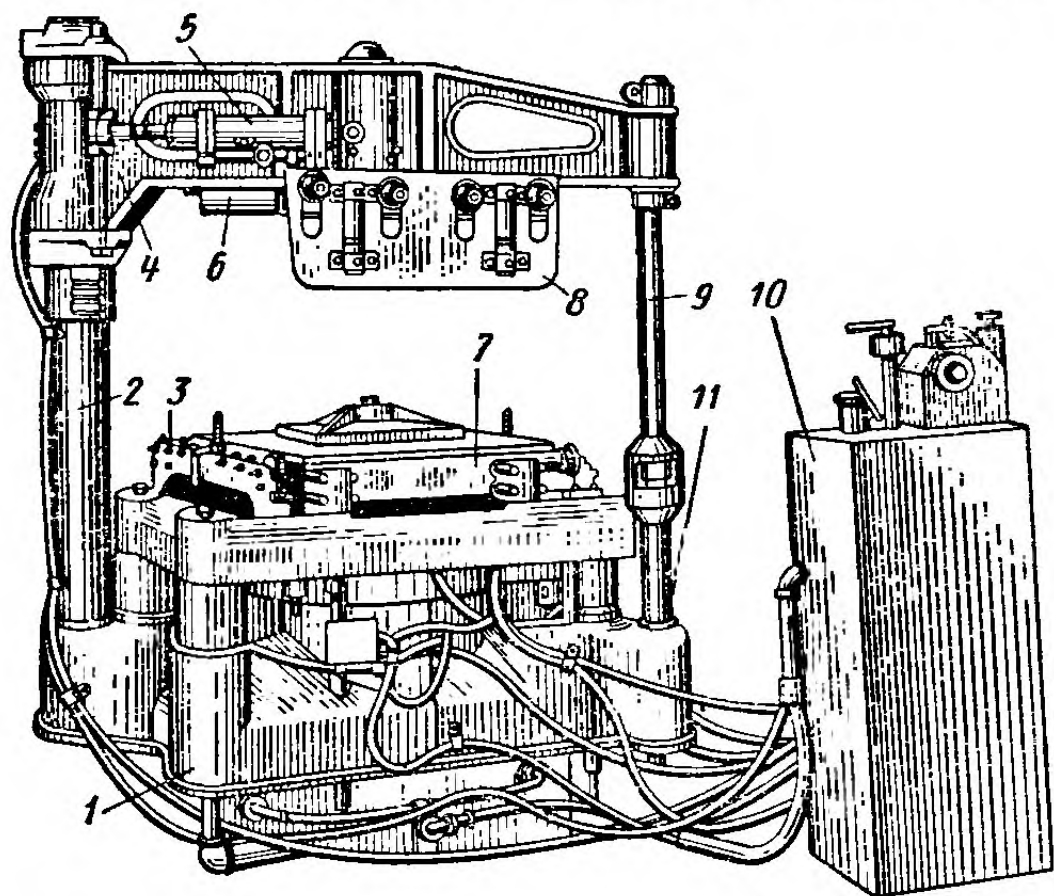


Рис. 3.22. Встряхивающая формовочная машина модели 2М265 с допрессовкой и протяжной рамкой

рота траверсы, для подъема и опускания протяжной рамки 3, для прессования и вытяжки), клапаны встряхивания и прессования, кран регулировки подачи воздуха под встряхивающий стол и запорный вентиль.

Модельную плиту и опоку устанавливают на встряхивающем столе 7; наполняют опоку формовочной смесью и включают встряхивание поворотом рукоятки счетчика ударов из положения «Стоп» в рабочее положение. Процесс встряхивания продолжается до тех пор, пока счетчик ударов не выключит подачу сжатого воздуха. Необходимое число ударов для требуемого уплотнения устанавливается опытным путем.

Для проведения прессования траверсу 4 устанавливают в рабочее положение: тяга 9 своей гайкой должна упираться в стойку 11. Цилиндр 5 тормозит движение траверсы при повороте, предохраняя ее от ударов. При включении прессования встряхивающий стол поднимается вместе с опокой и протяжной рамкой 3 и прижимает верхние слои формовочной смеси к прессовой плите 6, расположенной на вертикальной оси, вокруг которой она может поворачиваться на некоторый угол.

После прессования производят вытяжку; для этого ставят рукоятку соответствующего воздухораспределителя в рабочее положение. При вытяжке включаются вибраторы, расположенные по бокам встряхивающего стола; модель опускается вместе со столом, а опока остается на протяжной рамке 3. После окончания вытяжки полуформа садится на рольганг машины. Прессовую траверсу возвращают в исходное положение, при этом сталкиватель 8 скатывает опоку на приемный рольганг вне машины; протяжная рамка возвращается в исходное положение.

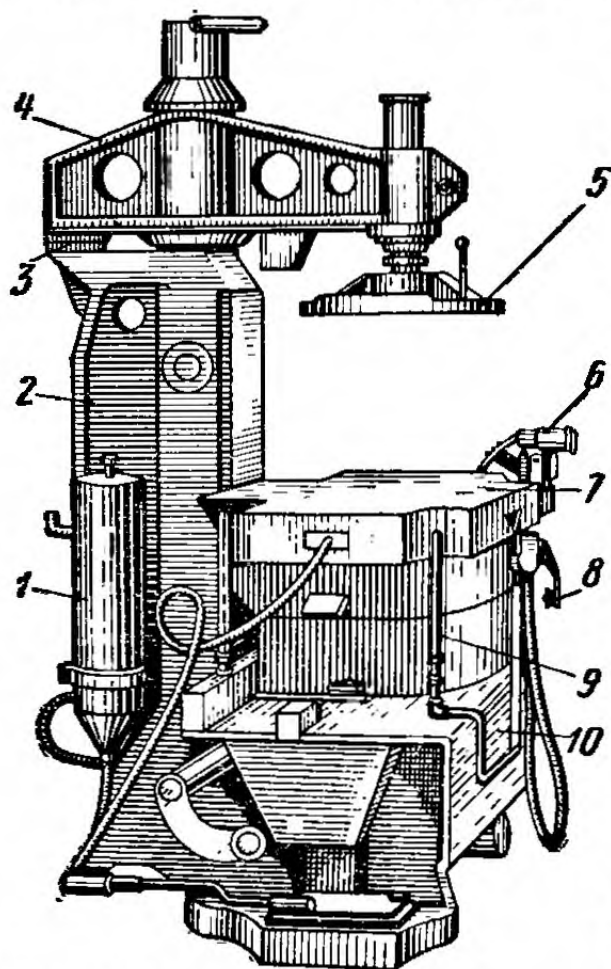


Рис. 3.23. Встряхивающая формовочная машина модели 271 с допрессовкой и штифтовым съемом

Технические характеристики пневматических встряхивающих формовочных машин с допрессовкой и протяжной рамкой приведены в табл. 3.13.

Широкое применение для изготовления полуформ (как верхних, так и нижних) мелких отливок получила пневматическая встряхивающая формовочная машина с допрессовкой и штифтовым съемом опок, показанная на рис. 3.23.

В станине 10 смонтирован цилиндр прессового поршня, соединенный со встряхивающим столом машины. К станине машины крепится колонна 2, в верхней части которой имеется прессовая траверса 4. Поворот этой траверсы ограничивается башмаком 3, на траверсе укреплен прессовая плита 5.

При нажиме на коленный клапан 8 открывается доступ сжатого воздуха под поршень встряхивающего стола 7.

Изготовленная полуформа снимается с модельной плиты подъемно-вытяжными устройствами, которые установлены на станине формовочной машины. Между собой они соединены серьгами и рычагами уравнительного вала, что обеспечивает одновременный подъем съемных штифтов 9 при вытяжке. В зависимости от размера опок съемные штифты могут переставляться на необходимые расстояния.

На колонне 2 укреплен масляный резервуар 1, предназначенный обеспечивать плавный ход вытяжки.

Управление работой формовочной машины производится переключением рукоятки воздухораспределителя 6 в следующие положения: «Стоп», «Прессование», «Вытяжка», «Вибрация».

На базе машины 271 разработана полуавтоматическая формовочная машина 91271 для изготовления верхних и нижних полуформ небольших отливок.

Для производства крупных верхних и нижних полуформ в серийном и массовом производстве отливок используют четырехпозиционные формовочные автоматы карусельного типа моделей 94265, 94267 и 94268.

3.13. Технические характеристики
пневматических встряхивающих формовочных машин
с допрессовкой и протяжной рамкой

Модель	Наибольший размер опок в мм		Производительность, опок в час	Грузоподъемность в кгс	Усилие прессования в кгс	Число встряхиваний в минуту	Расход воздуха на 1 опоку в м ³	Габаритные размеры в м	Масса в кг
	в свету	высота							
266М	600×500	250	50	400	9 400	170	0,5	1,5× ×1,2× ×2,3	2 800
2М265	800×700	300	50	600	18 500	125	0,6	1,7× ×1,3× ×2,5	4 700
91265	800×700	300	100	600	25 500	—	1,0	5,0× ×1,8× ×3,2	8 260
267	1000×800	350	45	1200	30 000	105	1,0	2,5× ×1,7× ×2,9	7 000
268	1250×900	400	30	1500	30 000	95	3,0	2,7× ×2,0× ×3,5	12 000

Формовочные пескометы выполняют одновременно две операции: наполняют опоку формовочной смесью и уплотняют ее. Остальные операции выполняются вручную или специальными механизмами, не относящимися к пескометам. Пескометы применяют для изготовления форм средних и крупных отливок как в серийном, так и в индивидуальном производстве.

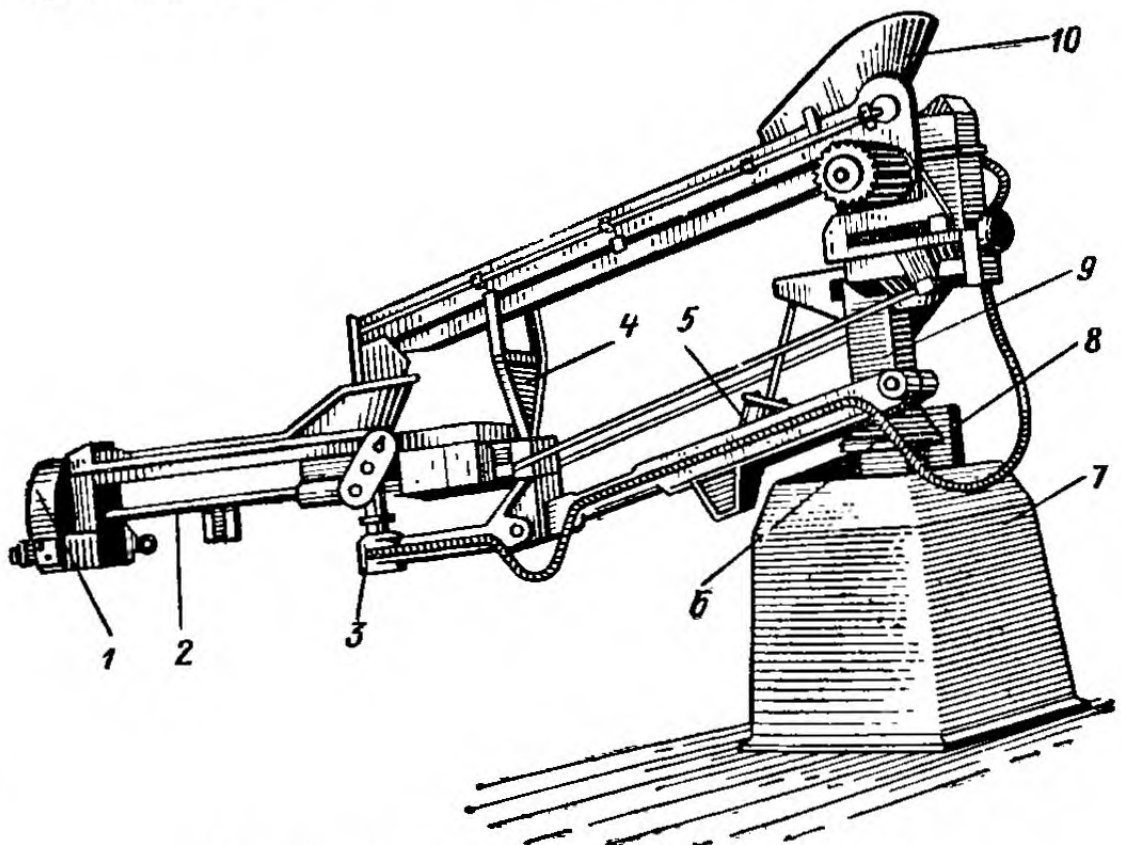


Рис. 3.24. Стационарный пескомет модели 293

3.14. Технические характеристики формовочных пескометов

Модель	Тип пескомета	Производительность (по уплотненной смеси) в м ³ /ч	Радиус действия металлической головки в мм		Высота выхода ного отверстия в мм	Число оборотов ротора в минуту	Вылет рукавов в мм		Угол поворота рукавов в град.		Масса в кг
			большой	маленький			большого	малого	большого	малого	
293	Стационарный	12	4500	1500	885— 1665	1450	2785	1715	320	300	3 520
2596	*	25	6500	2600	600— 2000	1460	4000	2500	180	280	11 000
291	Передвижной кон- сольный	15	4750	1700	600— 1950	1620	3000	1750	180	290	4 800
296М	То же	25	7500	2720	800— 2000	1460	4250	3250	180	300	11 800

Процесс пескометной формовки по моделям, смонтированным на подмодельных плитах, сходен с процессом машинной формовки. Обе полуформы изготавливают отдельно, а затем соединяют при сборке. Если модели не смонтированы на модельные плиты, то процесс сходен с ручной формовкой. Обе полуформы изготавливают последовательно — сначала изготавливают нижнюю полуформу, затем на нижнюю часть модели устанавливают верхнюю и продолжают процесс формовки. При пескометной формовке крупных отливок модель покрывают слоем облицовочной смеси вручную (или с помощью пескосыпа), уплотняют эту смесь вручную или с помощью пневматических трамбовок, а затем, установив опоку, заполняют и уплотняют ее дополнительной смесью с помощью пескомета.

Пескометры могут быть стационарными и передвижными. Стационарный пескомет 293 показан на рис. 3.24.

Основанием пескомета служит чугунная станина-тумба 7, устанавливаемая на бетонный фундамент.

Стойка 6 большого рукава пескомета поворачивается вокруг вертикальной колонны 9. На конце большого рукава закреплена опора 3, вокруг вертикальной оси которой может поворачиваться малый рукав с металлической головкой 1. При помощи системы рычагов большой и малый рукава поворачиваются, благодаря чему пескомет обслуживает большую площадь на формовочном участке. Подъемный цилиндр 5 дает возможность перемещать большой рукав пескомета в вертикальном направлении.

Формовочная смесь из приемной воронки 10 поступает на

ленточные транспортеры сначала большого, а затем малого рукавов. Транспортер большого рукава опирается на стойку 4.

Формовочная смесь с ленточного транспортера малого рукава подается в метательную головку и выбрасывается из нее со скоростью около 48 м/с.

Метательная головка 1 пескомета установлена на конце трубы 2 малого рукава. На метательной головке размещены пульт управления и фара для освещения места формовки.

Головка пескомета перемещается в горизонтальной плоскости формовщиком вручную. На станине 7 пескомета имеется упор 8, который ограничивает перемещение пескомета в этой плоскости. Управление пескометом — кнопочное.

На базе модели 293 разработан стационарный пескомет с дистанционным управлением модели 2A93.

Передвижные пескометы консольного типа могут перемещаться по рельсу вдоль стены (или колонн) формовочного пролета. Они получают формовочную смесь непосредственно от общецехового транспортера. Пескометы со сменным бункером перемещаются на самоходных тележках по рельсовому пути, уложенному посередине пролета. Это увеличивает радиус действия пескомета. Технические характеристики пескометов приведены в табл. 3.14.

ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

В серийном и массовом производстве отливок из алюминиевых и магниевых сплавов широко применяют литье в кокиль, что обусловлено существенными преимуществами литья в кокиль по сравнению с литьем в песчаные формы.

Литьем в кокиль получают отливки 3—5-го классов точности с шероховатостью поверхности по 3—5-му классам чистоты (ГОСТ 2789—59). Частичное или полное устранение механической обработки повышает коэффициент необрабатываемых поверхностей (КНП) и увеличивает прочностные свойства отливок, так как литая поверхность хорошо сопротивляется деформированию, коррозии, эрозии и истиранию. Повышенная скорость кристаллизации сплава в кокиле способствует измельчению структурных составляющих сплава, в результате чего увеличиваются механические свойства, плотность и герметичность отливок. Кроме того, при литье в кокиль повышается производительность труда, увеличивается съем литья с 1 м² производственной площади в результате исключения формовочного отделения и значительного сокращения (или полного устранения) стержневого участка; улучшаются санитарно-гигиенические условия труда; облегчаются условия механизации и автоматизации производственного процесса.

К недостаткам литья в кокиль следует отнести сравнительно высокую стоимость оснастки и продолжительность ее изготовления, а также сложность получения крупногабаритных отливок с развитыми поверхностями и со стенками различной толщины.

Метод экономически целесообразен при серийном производстве отливок, а в ряде случаев (с учетом получения точных и чистых высокопрочных отливок) даже в мелкосерийном производстве.

1. АЛЮМИНИЕВЫЕ И МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ

Для литья в кокиль можно применять практически все алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685—63 и ОСТ 1.90004—70), что зависит от сложности отливок (их конфигурации, толщины стенок) и требований, предъявляемых к отливкам по прочности, герметичности, коррозионной стойкости, жаропрочности и т. п. Литьем в кокиль можно получать плотные отливки даже из сплавов с широким температурным интервалом кристаллизации (АЛ19, АЛ8, АЛ27-1 и др.). Однако область применения таких сплавов ограничивается отливками сравнительно несложной конфигурации, так как эти сплавы склонны к образованию горячих трещин. Для литья в кокиль широко используют сплавы с узким температурным интервалом кристаллизации и небольшой линейной усадкой на основе систем: Al—Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9, ВАЛ5); Al—Si—Cu (АЛ3, АЛ5, В124, АЛ4М), а также сложнoleгированные силумины (АЛ25, АЛ26, АЛ30), применяемые для литья поршней. Установка в кокилях податливых песчаных стержней вместо металлических позволяет более широко применять сплавы с широким температурным интервалом кристаллизации на основе систем Al—Mg, Al—Cu.

Механические свойства алюминиевых сплавов при литье в кокиль значительно изменяются по сравнению с литьем в песчаные формы (табл. 3.15).

3.15. Механические свойства алюминиевых сплавов
в зависимости от способа литья
(отдельно отлитые образцы диаметром 12 мм)

Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ в %
			в кгс/мм ²		
ВАЛ10	Песчаные формы Кокиль	T6	43—46 50—52	32—36 38—44	3—6 4—8
АЛ19	Песчаные формы Кокиль	T5	36—38 38—44	24—28 28—32	5—8 5—10
ВАЛ5	Песчаные формы Кокиль	T5	32—34 34—38	27—29 30—32	3—5 4—6
АЛ4М	Песчаные формы Кокиль	T6	30—34 34—37	25—28 28—32	2—4 3—5
АЛ5	Песчаные формы Кокиль	T6	24—26 26—30	18—20 22—24	1—2 2—4
АЛ4	Песчаные формы Кокиль	T6	24—26 26—28	18—20 20—22	3—6 4—8
АЛ9	Песчаные формы Кокиль	T5	21—23 24—26	12—14 14—16	3—5 4—6
АЛ2	Песчаные формы Кокиль	T2	15—17 16—20	9—11 10—15	4—6 5—8

Для литья в кокиль применяют магниевые сплавы марок Мл5, Мл6, Мл10, Мл12, Мл15. Вследствие пониженных литейных свойств магниевых сплавов и активного окисления и даже возгорания их в процессе литья технологический процесс производства отливок из магниевых сплавов имеет особенности, главными из которых являются следующие: усиленное питание отливок в процессе кристаллизации за счет установки прибылей увеличенных размеров с целью компенсации высокой объемной усадки сплавов; повышение температуры заливки для лучшего заполнения полости кокиля; создание защитной атмосферы для предотвращения окисления зеркала и потока сплава в форме.

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОТЛИВОК

Разработка технологии литья в кокиль начинается с составления чертежа отливки. Для этого намечают положение отливки в кокиле и плоскости разъема кокиля; рассчитывают и определяют тип и размеры литниково-прибыльной системы; определяют необходимое число стержней, способ их фиксации и т. д.

С учетом технических возможностей и экономической целесообразности назначают класс точности отливки и наносят на чертеж соответствующие этому классу допуски на размеры отливки. Определяют и наносят на чертеж припуски на механическую обработку, устанавливают величину и направление литейных уклонов. В случае необходимости, вызванной требованиями технологии литья и термической обработки, на чертеже отливки показывают технологические приливы и напуски. На чертеже наносят также бобышки, служащие в дальнейшем технологическими базами при механической обработке отливки. После определения линейной усадки отливки корректируют ее размеры.

При выборе положения отливки в форме учитывают ее сложность и необходимость создания условий для последовательно направленной кристаллизации так, чтобы массивные узлы отливки располагались в верхней части формы и подпитывали нижние тонкие сечения. Различные плоские поверхности отливок следует располагать внизу, вертикально или наклонно.

Число плоскостей разреза должно быть минимальным, при этом необходимо избегать сложных криволинейных разрезов. Увеличение числа плоскостей разреза снижает точность изготовления отливки и затрудняет работу кокильщика.

Обычно литьем в кокиль получают отливки по 4—5-му классам точности (нормаль АН1026), в ряде случаев можно назначать допуски на отклонения некоторых размеров по 3-му классу точности (табл. 3.16).

3.16. Предельные отклонения размеров отливок (\pm мм)

Класс точности	Обозначение допуска	Наибольший габаритный размер в мм									
		До 60	Свыше 60 до 100	Свыше 100 до 160	Свыше 160 до 250	Свыше 250 до 400	Свыше 400 до 630	Свыше 630 до 1000	Свыше 1000 до 1250	Свыше 1250 до 1600	Свыше 1600 до 2000
3	ДЛт3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	—	—	—	—
	ТЛт3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	—	—	—	—
	МЛт3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	—	—	—	—
4	ДЛт4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	—	—
	ТЛт4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	—	—
	МЛт4	0,5	0,5	0,6	0,7	1,0	1,5	1,8	2,0	—	—
5	ДЛт5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,5
	ТЛт5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4
	МЛт5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,7	2,0	2,2	2,5	3,0

Припуски на механическую обработку кокильных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов приведены в табл. 3.17.

Для облегчения удаления отливки из кокиля предусматривают литейные уклоны стенок, направленные в сторону разреза кокиля (табл. 3.18).

3.17. Припуски на механическую обработку кокильных отливок в мм

Наибольший габаритный размер отливки в мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер в мм				
		До 50	Свыше 50 до 120	Свыше 120 до 260	Свыше 260 до 500	Свыше 500 до 800
До 120	Верхнее	1,5	2,0	—	—	—
	Нижнее, боковое	1,0	1,5	—	—	—
Свыше 120 до 260	Верхнее	2,0	2,5	3,0	—	—
	Нижнее, боковое	1,5	2,0	2,0	—	—
Свыше 260 до 500	Верхнее	2,5	3,0	3,5	4,0	—
	Нижнее, боковое	2,0	2,0	2,5	3,0	—
Свыше 500 до 800	Верхнее	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0
	Нижнее, боковое	2,0	3,0	3,0	3,5	4,0

Примечание. Припуски допускаются увеличивать: а) на внутренние поверхности простых отливок и наружные поверхности сложных отливок для припусков размерами до 4 мм на 1 мм; 4 мм и выше на 2 мм; б) на внутренние поверхности сложных отливок для припусков размерами до 4 мм на 1,5 мм; 4 мм и выше на 3 мм; в) на размеры отливок, расположенных в форме, имеющей более чем один разъем, на 0,5 мм на каждый разъем.

3.18. Литейные уклоны стенок кокильных отливок

Высота (длина) отливки в мм	Уклон не более		Высота (длина) отливки в мм	Уклон не более	
	в мм	в град.		в мм	в град.
До 20	1,0	3	301—500	4,0	0,5
20—50	1,5	1,25	501—800	5,0	
51—100	2,0	1,25	801—1000	6,0	
101—200	2,5	0,75	1001—1200	7,0	
201—300	3,0	0,50	1200—1600	8,0	
			Свыше 1200	8,0	

Следует избегать в отливках глубоких литых отверстий небольшого диаметра. Допустимые размеры литых отверстий приведены в табл. 3.19.

3.19. Размеры литых отверстий в кокильных отливках

Сплавы	Минимальный диаметр отверстий в мм в отливках			Максимальное отношение глубины отверстия к диаметру отверстия		Конусность стержней в град.
	мелких	средних	крупных	глухого	сквозного	
Алюминиевые Магниевые	8	10	12	2	2—3	2—3
	6	7	8	2—3	3—5	1,5

Для повышения жесткости отливок и устранения возможного их коробления при извлечении из формы, а также при термической обработке предусматривают ребра жесткости. Однако следует учитывать, что большое число ребер жесткости затрудняет усадку отливок и может привести к образованию трещин. Толщина ребер жесткости должна составлять 0,6—0,8 толщины сопрягаемых стенок отливки.

В конструкции отливки не должно быть резких переходов от толстых сечений к тонким; большого числа выступающих частей, тормозящих усадку, а также массивных внутренних тепловых узлов, питание которых сплавом с помощью прибылей затруднено или практически невозможно. В массивные тепловые узлы отливок следует устанавливать холодильники или арматуру.

3. ЛИТНИКОВО-ПРИБЫЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Для литья алюминиевых и магниевых сплавов в кокиль применяют верхние, нижние, вертикально-щелевые системы (рис. 3.25).

Верхняя литниковая система обеспечивает правильный тепловой режим формы и направленное затвердевание отливки; расход сплава минимальный. Однако при падении струи сплава с большой высоты возможно его разбрызгивание, захват воздуха и шлаков. Поэтому верхнюю литниковую систему обычно используют для небольших по высоте алюминиевых отливок и не рекомендуют для магниевых. В случае необходимости использования верхней литниковой системы для высоких алюминиевых и магниевых отливок следует предусматривать заливку сплава с кантовкой кокиля.

Нижняя литниковая система обеспечивает плавное заполнение формы сплавом и последовательное вытеснение воздуха и образующихся газов из полости формы. Недостатки системы — ухудшение условий затвердевания отливки (особенно высокой) и сильный перегрев кокиля в месте подвода сплава. Эту систему широко применяют для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. С целью уменьшения разности температур по высоте отливки предусматривают дополнительный верхний питатель или производят доливку горячего сплава в прибыль. Стояк обычно делают изогнутым, что способствует плавному поступлению первой порции сплава в полость формы и лучшему отделению шлаков.

Вертикально-щелевая литниковая система обеспечивает направленное затвердевание отливки и хорошее заполнение высоких форм. Недостатки системы — трудность ее выполнения в кокиле и удаления литников из отливки, а также перегрев участков кокиля, прилегающих к щели. Для лучшего отшлакования рекомендуется следующая схема поступления сплава в форму: стояк — вертикальный коллектор — щель — полость формы. Эту литниковую систему применяют для получения высоких тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов.

Для получения сложных крупногабаритных отливок часто используют комбинированные литниковые системы, состоящие из элементов описанных выше систем. Отдельные элементы системы выполняют как в самом кокиле, так и в стержнях.

Основные элементы литниково-прибыльной системы — это литниковая чаша, стояк, коллектор, питатель, прибыль. Для литья в кокиль

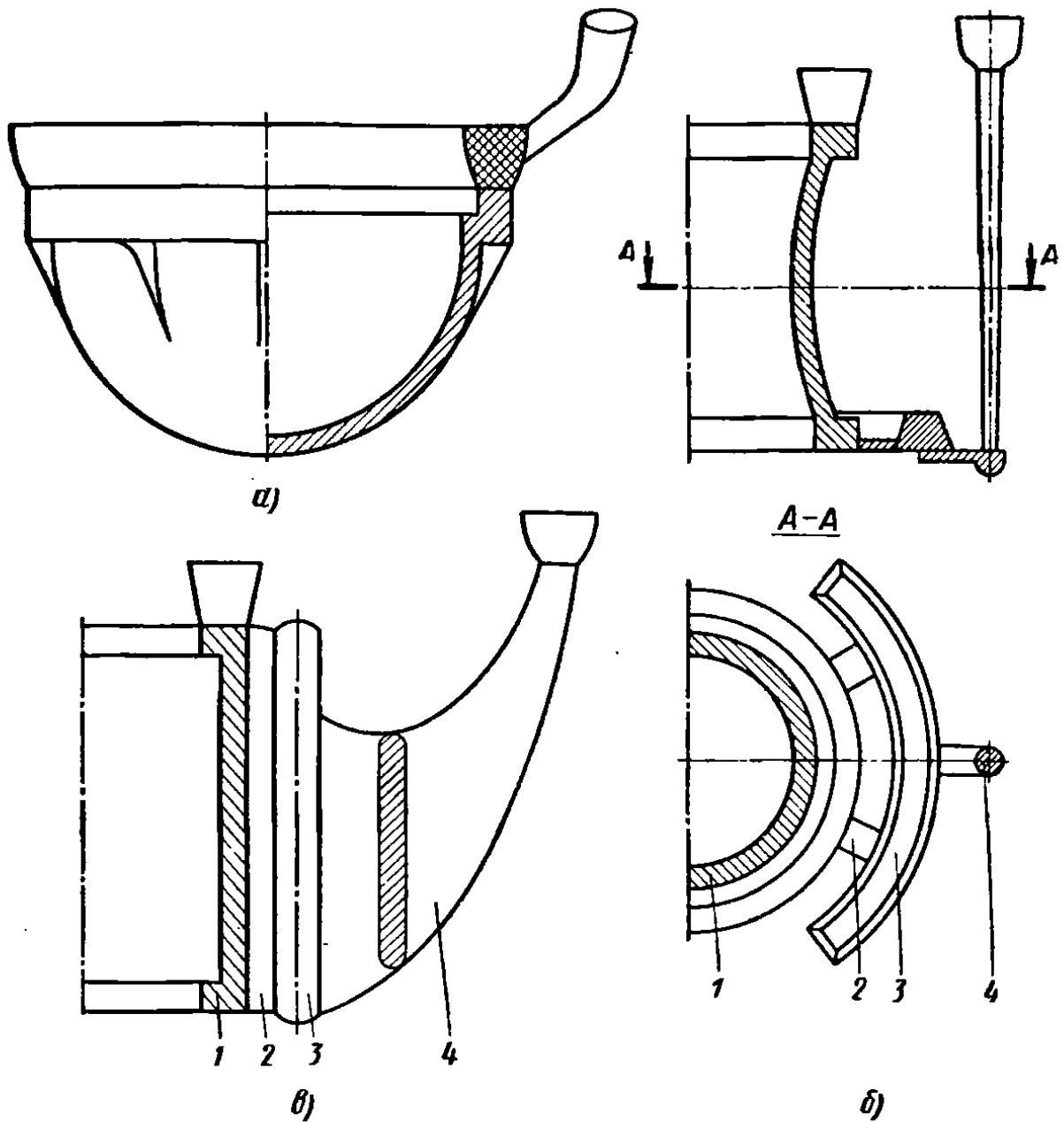


Рис. 3.25. Литниковые системы для литья в конкль:
 а — верхняя; б — нижняя; в — вертикально-щелевая; 1 — отливка; 2 —
 питатель; 3 — коллектор; 4 — стояк

алюминиевых и магниевых сплавов применяют расширяющуюся литни-
 ковую систему, т. е.

$$F_{\text{ст}} < F_{\text{кол}} < F_{\text{пит}},$$

где $F_{\text{ст}}$, $F_{\text{кол}}$, $F_{\text{пит}}$ — суммарные площади поперечных сечений
 стояков, коллекторов и питателей.

Соотношение элементов литниковой системы для мелких и средних
 отливок

$$F_{\text{ст}} : F_{\text{кол}} : F_{\text{пит}} = 1 : 2 : 3,$$

а для крупных и сложных отливок

$$F_{\text{ст}} : F_{\text{кол}} : F_{\text{пит}} = 1 : 3 : 6.$$

От правильного определения размеров литниковых каналов зависит качество отливки. Если их размеры завышены (по сравнению с оптимальными), то сплав будет поступать в форму с большой скоростью и напором, что является причиной преждевременного износа рабочей полости кокиля. Уменьшение размеров каналов может привести к браку отливок по недоливу и неспаям.

Расчет литниковой системы производят по формулам и номограммам, затем в процессе освоения отливок размеры элементов литниковой системы корректируют.

Обычно рассчитывают наиболее узкое сечение литниковой системы. При расширяющейся литниковой системе таким сечением является площадь сечения нижнего основания стояка $f_{ст}$. Для расчета $f_{ст}$ можно использовать эмпирическую формулу, представляющую собой упрощенное выражение уравнения Бернулли:

$$f_{ст} = \frac{1000G}{\mu\tau\sqrt{2gh}} \quad (1)$$

где G — масса отливки с литниковой системой и прибылями (т. е. черновая масса отливки) в кг;

τ — продолжительность заливки в с;

μ — коэффициент расхода; для алюминиевых сплавов $\mu = 0,65 \div 0,75$, для магниевых $\mu = 0,7 \div 0,8$;

ρ — плотность жидкого сплава в г/см³;

h — средний металлостатический напор в см.

После подстановки значений ρ и $\sqrt{2g}$ в формулу (1) получим: для алюминиевых сплавов

$$f_{ст} = \frac{G}{\mu\tau 0,1\sqrt{h}} \text{ см}^2,$$

для магниевых сплавов

$$f_{ст} = \frac{G}{\mu\tau 0,07\sqrt{h}} \text{ см}^2.$$

Продолжительность заливки определяют по номограммам или используют формулу

$$\tau = s\sqrt[3]{\delta G},$$

где δ — средняя толщина стенок отливки в мм;

s — коэффициент, зависящий от конфигурации отливки (значения коэффициента s для алюминиевых и магниевых сплавов приведены в табл. 3.20).

Средний металлостатический напор (рис. 3.26) определяют по формуле

$$h = H - \frac{a^2}{2c}.$$

По расчетной величине подбирают сечения других элементов литниковой системы.

Стояк выполняют в виде суживающегося книзу канала; сечение стояка может быть круглым, эллипсным или шестигранным с закругленными углами. Для лучшего отшлакования и уменьшения скорости

3.20. Значения коэффициента s

Литниковые системы	Черновая масса отливки в кг	Сплавы	
		алюминиевые	магнелиевые
Обычные	До 2	2,2	2,3
	2—5	2,4	2,6
	5—10	2,5	2,8
	более 10	2,62	2,9
Вертикально-целевые	До 15	3,35	3,7
	15—30	3,6	3,7
	30—45	4,0	4,0
	45—70	4,6	4,4

потока сплава применяют наклонные стояки: изогнутые (типа «гусиной шейки») и змеевидные (рис. 3.27).

При литье крупных и сложных деталей в литниковой системе предусматривают коллектор (шлаковик) для подвода сплава в форму через несколько питателей. Сечение коллектора обычно трапецеидальное.

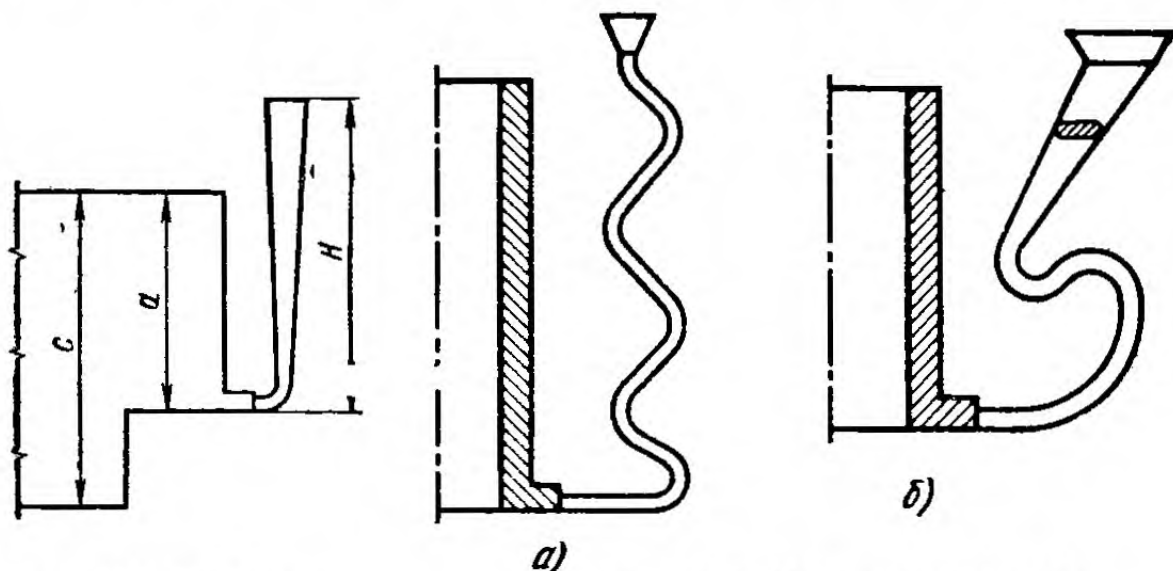


Рис. 3.26. К определению металлостатического напора

Рис. 3.27. Наклонные стояки:
а — змеевидный; б — изогнутый

Число и размеры питателей зависят от размеров отливки и выбранного соотношения площадей сечений других элементов литниковой системы. Для получения тонкостенных отливок питатель подводят обычно к тонкому сечению отливки, толщина (высота) питателя не должна превышать толщину стенки отливки в месте подвода, чтобы исключить фонтанирование потока сплава. При получении отливок сложной конфигурации с различными по толщине стенками сплав можно подводить к толстым сечениям, однако необходимо обеспечивать доста-

точную подпитку места подвода сплава с помощью коллектора или питающей бобышки. Сечения элементов литниковой системы показаны на рис. 3.28.

Для торможения скорости потока сплава и лучшего отшлакования в конструкции каналов литниковой системы применяют сетки металлические или из стеклоткани. Сетки являются дополнительным сопротивлением потоку сплава и способствуют задержанию крупных шлаковых включений и окисных плен.

Прибыли. Число, форма и размеры прибылей должны обеспечивать питание кристаллизующихся участков отливки жидким сплавом с целью компенсации объемной усадки и получения плотных отливок.

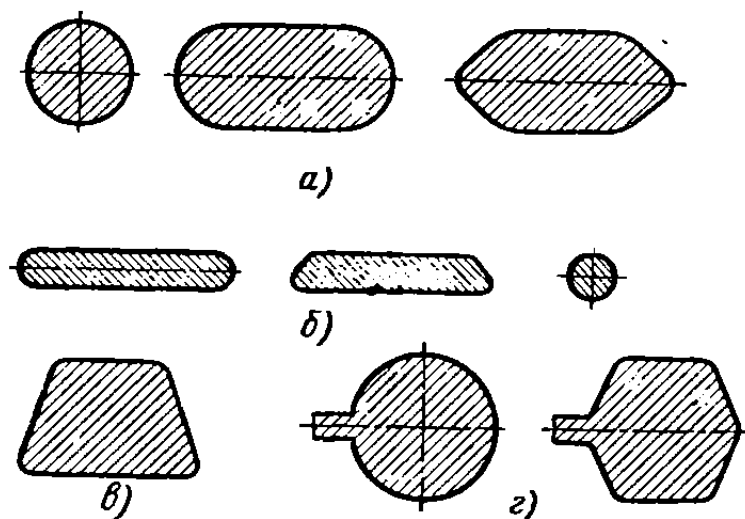


Рис. 3.28. Поперечные сечения элементов литниковой системы:

а — стояков; *б* — питателей; *в* — горизонтального коллектора; *г* — вертикального коллектора

Форма прибыли определяется конфигурацией питаемого массивного теплового узла отливки, а ее объем должен в 1,5—2 раза превосходить объем питаемого узла.

По расположению прибыли разделяют на верхние и боковые (открытые и закрытые). Температуру сплава в прибыли поддерживают доливкой горячего сплава, электрообогревом, утеплением прибыли (покрытием поверхности, оформляющей прибыль, смесями с низкой теплопроводностью).

Размеры прибылей рассчитывают по номограммам или эмпирическим путем, затем размеры прибыли корректируют после получения опытной партии отливок. При литье сплавов с широким температурным интервалом кристаллизации (АЛ7, АЛ8, АЛ19, магниевых сплавов), склонных к образованию усадочной пористости в отливках, не следует увеличивать объем прибылей за счет увеличения их высоты, так как металлостатический напор в прибыли недостаточен для питания мелких капиллярных пор, образующихся в массивных тепловых узлах при кристаллизации отливки.

4. ОСНАСТКА

Кокильная оснастка включает металлическую форму (собственно кокиль); металлические стержни с приспособлениями для их установки и удаления; систему толкателей для удаления отливки из кокиля; теплорегулирующую систему, осуществляющую нагрев и охлаждение отдельных частей кокиля с целью создания благоприятных условий

для последовательной кристаллизации отливки; приспособления для крепления кокиля к рамам машин.

Конструкция кокиля должна, по возможности, обеспечивать условия для свободной усадки отливки, особенно из магниевых сплавов, склонных к образованию горячих трещин. Податливость кокилей можно увеличить применением металлопластинчатых вставок, представляющих собой набор стальных пластин, в которых выполнена часть рабочей полости кокиля. От толщины стенки кокиля в значительной степени зависит качество получаемых отливок. Слишком тонкие стенки могут привести к быстрому перегреву кокиля, что создает неблагоприятные условия для кристаллизации отливки (снижает скорость кристаллизации и, следовательно, ухудшает механические свойства). Очень толстые стенки кокиля увеличивают его массу и продолжительность подогрева перед началом работы. Подробная классификация кокилей и их конструкции приведены в работе [9].

Для литья алюминиевых и магниевых сплавов наиболее часто применяют кокили с вертикальным разъемом. При вертикальном разьеме значительно проще осуществляются раскрытие кокиля и удаление отливок, а также легче выполнять литниковую систему.

Кокили в основном изготовляют из серого чугуна. В табл. 3.21 приведены состав чугуна для кокилей, предназначенных для литья алюминиевых и магниевых сплавов.

3.21. Состав чугуна для изготовления кокилей в %

Кокиль	C	Si	Mn	P	S	Прочие
Для отливок простой конфигурации	2,8—3,6	1,6—2,2	0,4—0,8	0,1—0,2	0,06—0,1	0,1 Ni; 0,4 Cr
Для отливок средней конфигурации	3,3—3,6	1,7—2,5	1,0—1,05	0,1—0,2	0,07—0,1	1,0 Cu; 0,5 Cr
Для отливок сложной конфигурации	3,1—3,4	1,4—1,7	0,8—1,2	<0,25	<0,12	0,35 Ni; 0,1—0,2 Cr

В отличие от стальных кокилей чугунные кокили не подвержены короблению, их стойкость при литье алюминиевых и магниевых сплавов достаточно высока — они выдерживают десятки тысяч заливок.

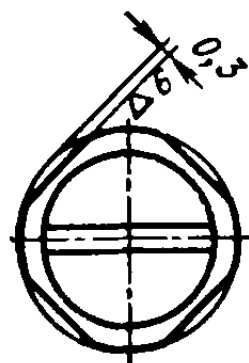
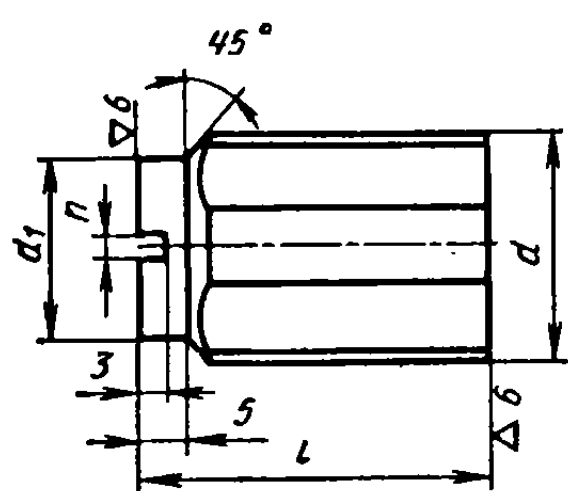
Для небольших отливок применяют кокили из литейных алюминиевых сплавов (АЛЗ, АЛ5, АЛ4, АЛ9) с анодированной рабочей поверхностью. Анодная пленка предохраняет рабочую поверхность кокиля от приваривания. Высокая теплопроводность алюминия способствует быстрой кристаллизации отливок и повышению их механических свойств особенно при литье в водоохлаждаемые кокили.

Рабочие полости литых кокилей подвергают механической обработке и окончательной слесарной доводке.

Точность кокильных отливок зависит от точности изготовления отдельных частей кокиля, их фиксации и соединения.

Для взаимной фиксации отдельных частей кокиля и их соединения используют различные приспособления. Обычно применяют для фиксации кокилей: с горизонтальным разъемом — центрирующие штыри; с книжным разъемом — цилиндрические фиксаторы; с вертикальным разъемом — центрирующие выточки и выступы. Для соединения кокилей с книжным разъемом применяют колонки. Фиксирующие приспособления обычно изготавливают из конструкционных сталей, например стали 45; шероховатость их поверхности должна соответствовать 7-му классу чистоты (ГОСТ 2879—59).

Для вывода газов и воздуха из полости кокиля предусматривают вентиляционные устройства. Наиболее простым способом вентиляции



3.22. Размеры вентиляционных пробок в мм (рис. 3.29)

d	d_1	n	Число лысок
6	5	2	4
8	6	2	4
10	8	2	6
12	10	2	6
16	12	2	6
20	16	4	8
25	20	4	8
32	25	4	8

Примечание. Размер l зависит от толщины стенки кокиля.

является нанесение рисок глубиной 0,3—1,0 мм на плоскости разъема кокиля. Для вывода газов из полостей кокиля, образующих глухие карманы, применяют вентиляционные пробки (табл. 3.22). Газы и воздух из полости формы удаляют также через знаковые части песчаных и металлических стержней, с этой целью на поверхности знака металлического стержня делают лыски.

Получение качественных плотных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов в значительной степени зависит от обеспечения оптимального теплового режима кокиля, под которым подразумевают температуру нагрева кокиля (или отдельных его частей) и стержней. При низкой температуре нагрева кокиля и стержней, в особенности при изготовлении тонкостенных отливок из магниевых сплавов, теплоемкость сплава может быть недостаточно для разогрева кокиля, что приводит к быстрому охлаждению сплава и появлению брака отливок по недоливу и сработкам. Разогрев кокиля выше оптимальной температуры увеличивает продолжительность кристаллизации отливок и может вызвать образование в отливках внутренних дефектов (рыхлоты, раковины и пор). Кроме того, чрезмерный разогрев уменьшает срок службы кокиля, снижает производительность труда (из-за затраты времени на охлаждение кокиля).

Тепловой режим регулируют нагревом или охлаждением кокиля или отдельных его частей.

Нагрев кокиля производят с помощью элементов сопротивления (проволоки или ленты из нихрома), смонтированных около обогреваемых стенок. Вывод от термопары подводят к щиту автоматического управления обогревающей системы, которая регулирует заданную температуру нагрева. Температура стенки кокиля 1 (рис. 3.30) контролируется термопарой 3. В случае несоответствия температуры нагрева оптимальной, заданной потенциометром 4, выходной импульс от термопары подается на электронный усилитель 5, видоизменяется в фазовращающемся мосте 6, выпрямляется и усиливается в выпрямителе 7 и дополнительно усиливается с помощью магнитного усилителя 8, который питает нагревательные элементы 2 кокиля.

Нагрев кокилей перед началом работы, а также подогрев работающих кокилей, предназначенных для получения несложных отливок, осуществляют газовыми горелками или передвижными электронагревательными устройствами.

В кокилях для крупных и сложных по конфигурации отливок наряду с электроподогревом тонких стенок применяют охлаждение массивных узлов и стенок проточной водой, проходящей между стенкой кокиля (из низкоуглеродистой стали) и приваренного к нему кожуха. В алюминиевых литых кокилях вода проходит по каналам, выполненным в самих кокилях (в литейную форму отливки кокиля вставляют латунные трубки различной конфигурации, которые образуют в кокиле необходимые каналы). На практике применяют также принудительное охлаждение кокилей с помощью вентилятора или сжатым воздухом. Для быстрого охлаждения отдельных участков применяют вставки из материалов, обладающих высокой теплопроводностью, например медные вставки.

Удаление отливок из кокиля осуществляется с помощью толкателей различных конструкций, а также плит толкателей (рис. 3.31); широко распространенные толкатели с возвратной пружиной используют в ручных и механизированных кокилях.

В кокилях используют песчаные и металлические стержни. Для оформления сложных внутренних поверхностей используют обычно разовые стержни из песчано-глинистых и песчано-смоляных смесей. Такие стержни обладают достаточной податливостью, поэтому их целесообразно применять для отливок из сплавов с большой линейной усадкой (сплавы на основе системы Al—Cu, Al—Mg, магниевые сплавы). При кристаллизации отливок из этих сплавов из-за затрудненной усадки возникают значительные внутренние напряжения, которые могут быть причиной образования горячих трещин, а также коробления отливок. Недостатками разовых стержней являются невысокая точность разме-

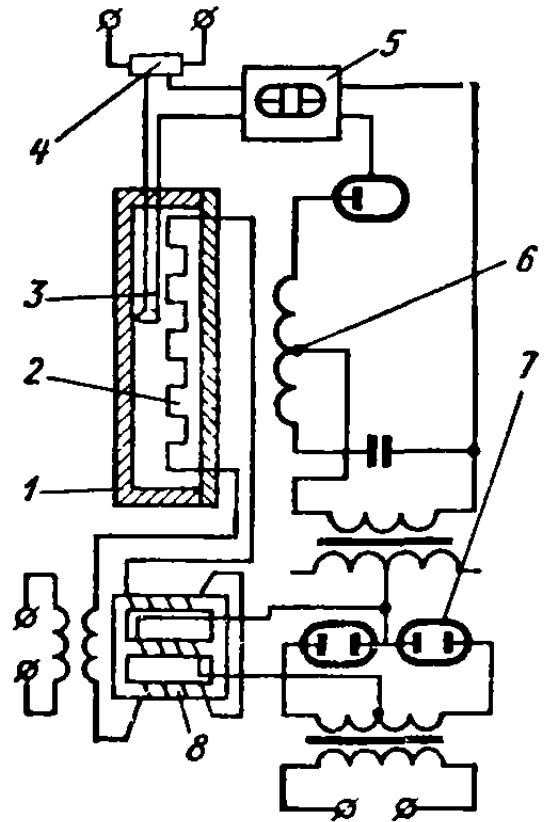


Рис. 3.30. Схема регулирования температуры нагрева кокиля

ров и большая газотворная способность, т. е. выделение газов при сгорании связующих стержневых смесей. Наибольшее применение нашли стержни из песчано-смоляных смесей.

Простые внутренние поверхности (как правило, без поднутрений), а также некоторые наружные поверхности выполняются металлическими стержнями или вкладышами. При этом увеличивается точность размеров отливок, измельчается их структура и повышаются механические свойства. Основной недостаток металлических стержней — отсутствие податливости. Поэтому их удаляют сразу после того, как образуется корка затвердевшего сплава, когда отливка имеет еще минимальную усадку.

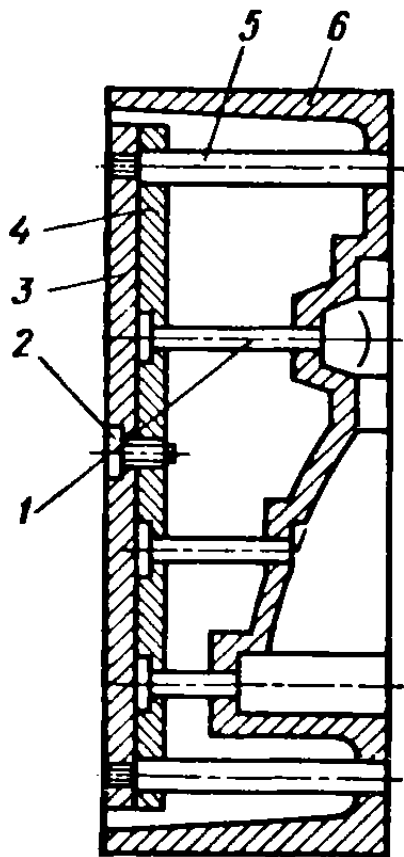


Рис. 3.31. Плита толкателей:

1 — толкатели; 2 — винт;
3 — упорная плита; 4 —
плита толкателей; 5 —
направляющие; 6 — ко-
киль

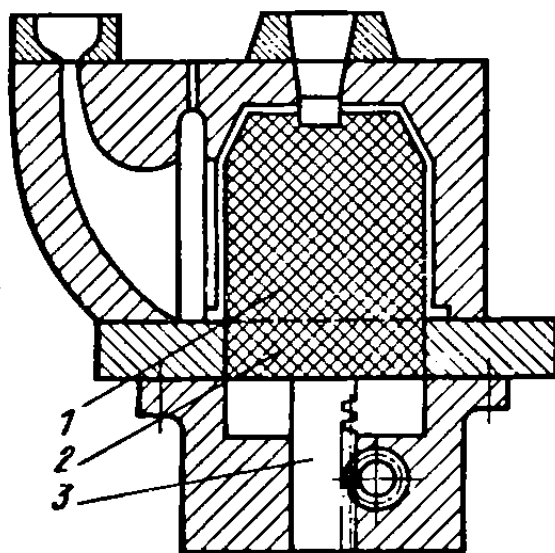


Рис. 3.32. Кокиль с реечным механизмом перемещения металлического стержня

В противном случае возможно образование трещин в отливке; кроме того, затрудняется удаление стержня из-за сильного его обжата затвердевшим сплавом.

Подвижные металлические стержни (рис. 3.32) обычно состоят из рабочей части 1, оформляющей полость отливки, знака 2, фиксирующего положения стержня в кокиле, и хвостовика 3, связанного с механизмом извлечения стержня.

Существует множество конструкций механизма удаления стержней; реечные, винтовые, клиновые, эксцентриковые, рычажно-шарнирные и др. В высокопроизводительных кокильных машинах используют полу- и автоматические приводы; гидравлические и пневматические. Гидравлические приводы работают более плавно, чем пневматические. В гидравлических приводах рабочая жидкость находится под давлением до 150 ат (в пневматических — воздух под давлением 5 ат). Они компактнее пневматических, так как одинаковые усилия в гидравлических

цилиндрах создаются поршнем меньшего диаметра. Однако конструкция гидравлических приводов сложнее пневматических.

Для обеспечения податливости, а также для облегчения удаления металлических стержней с поднутрениями их делают составными. Конструкция податливого составного стержня показана на рис. 3.33. После заливки, как только образуется затвердевший каркас отливки 1, удаляется центральная часть 2 стержня с перегородками 3. Образовавшиеся зазоры между оставшимися частями 5 стержня обеспечивают свободную усадку отливки, так как части 5 стержня могут перемещаться под действием сжимающего усилия (со стороны отливки) по пазам плиты 4.

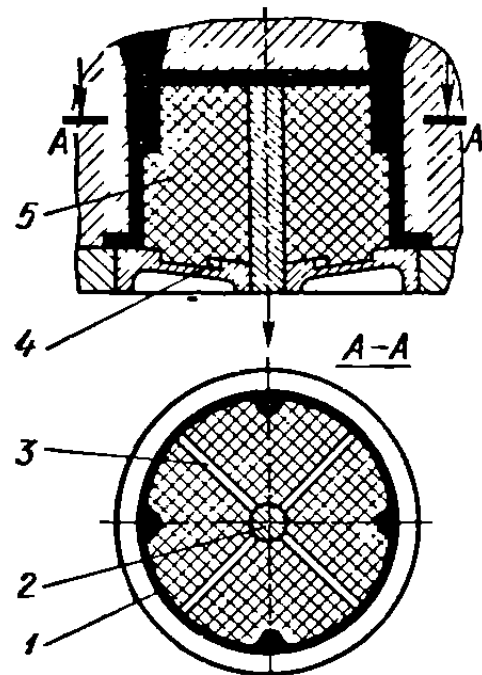


Рис. 3.33. Составной металлический стержень

5. КОКИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

При механизации и автоматизации производственного процесса получения отливок в кокилях достигается наибольший экономический эффект. По степени механизации различают ручные кокили, механизированные кокильные станки, однопозиционные кокильные машины (табл. 3.23): многопозиционные карусельные машины (табл. 3.24 и 3.25) и конвейеры.

Ручные кокили применяют для получения мелких отливок в единичном производстве (до 500—1000 отливок в год). Все операции выполняют вручную. Однако даже при небольшом объеме производства (до 1000 отливок в год) экономически выгодно применять кокильные станки, в которых механизированы отдельные операции: раскрытия и закрытия кокиля; удаления стержней и отливок. Эти трудоемкие операции выполняются с помощью простых приводных механизмов.

В однопозиционных кокильных машинах большинство операций выполняется автоматически при помощи гидравлических, автоматических и электрических приводов и специальных приспособлений. Кокильные машины целесообразно использовать при серийном производстве отливок. Однако процесс литья на кокильных машинах — прерывистый процесс из-за выдержки отливок в кокиле до окончания их затвердевания.

Непрерывность процесса кокильного литья и, следовательно, повышение производительности труда достигаются на многопозиционных карусельных кокильных машинах, в которых технологические циклы изготовления одинаковых или разных отливок совпадают по времени.

В кокильных машинах технологическое время, необходимое для выдержки отливки в кокиле в период кристаллизации и для охлаждения кокилей, устанавливают с помощью реле времени. Цикл работы машин — полуавтоматический. Отдельные операции: установку песчаных стержней, окраску кокилей, заливку сплава — выполняют вручную.

3.23. Типаж и основные параметры однопозиционных кокильных машин

Параметры	Модель машины								
	5912	591ПЗ	5913	5914	5915	5916	592П2	5922	5923
Разъем кокиля	Вертикальный								
Наибольшая масса отливки в кг	5	10	10	15	20	25	8	8	12
Размеры плит в мм: основных	400×320	500×400	500×400	600×500	800×630	1000×800	400×320	400×320	500×400
поддона	—	—	—	—	—	—	500×430	500×400	500×430
дополнительной ¹	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Наименьшее расстояние между плитами в мм	400	500	500	500	630	630	400	400	500
Ход плит в мм: основных	320	400	400	400	500	630	200	200	200
плиты толкателей	—	—	—	—	—	—	50	50	50
дополнительной ¹	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Усилие закрытия в тс	3,5	4,0	5,0	8,0	12,5	16,0	2,5	3,5	5,0
Число холостых циклов в 1/ч	500	600	400	240	180	140	360	360	240
Габаритные размеры в мм:									
длина	2230	2100	2400	2250	2600	2860	2320	2800	2800
ширина	850	860	950	1200	1400	1500	800	850	950
высота	1500	1300	1500	1200	1200	1350	1180	1500	1500
Масса машины в т	2,3	1,5	2,5	3,0	4,0	5,0	2,2	2,8	3,2

Продолжение табл. 3.23

Параметры	Модель машины							5964	5966
	5924	5926А	5944	5946А	5946Б	5955А			
Разъем кокиля	Вертикальный						Горизонтальный		
Наибольшая масса отливки в кг	20	30	20	30	50	30	15	25	
Размеры плит в мм: основных	630×500	1250×630	630×500	1250×630	1250×630	630×500	630×500	1000×800	
поддона	630×500	1250×800	630×500	1250×800	1250×1000	630×800	—	—	
дополнительной ¹	—	—	500×400	800×500	800×500	500×400	—	—	
Наименьшее расстояние между плитами в мм	500	630	500	630	1000	700	400	500	
Ход плит в мм: основных	250	320	250	320	320	320	125	200	
плиты толкателей	100	100	100	100	100	100	—	—	
дополнительной ¹	—	—	400	500	500	160	—	—	
Усилие закрытия в тс	10,0	20,0	10,0	20,0	20,0	15,0	8,0	18,0	
Число холостых циклов в 1/ч	240	140	80	55	55	60	240	140	
Габаритные размеры в мм:									
длина	3200	3560	3200	3560	3930	3300	2000	2450	
ширина	1850	1540	1850	2350	2350	2020	1600	2000	
высота	2400	2680	2530	2840	2840	2570	2100	2400	
Масса машины в т	4,5	7,3	5,3	8,8	9,2	7,3	4,0	6,7	

¹ Дополнительной плитой для машин моделей 5944, 5946А и 5946Б является плита верхнего стержня; для машины модели 5955А — задняя (боковая) плита.

3.24. Техническая характеристика карусельных машин с пневматическим приводом

Модель машины	Разъем кокиля	Габаритные размеры плиты для крепления полуформ в мм	Ход плиты в мм	Габаритные размеры кокиля в мм	Производительность (число циклов в час)	Характеристика карусели		
						Число позиций	Диаметр в мм	Частота вращения в об/мин
582	Вертикальный	700×600	350	700×270×600	40—240	8	6900	0,08—0,5
96591	»	330×230	140	330×140×230	300	6	3200	—
96594	»	1116×375	400	1116×510×375	75	6	6300	0,21
98593	С наклонной плоскостью	1000×400	—	1000×500×400	100	8	6300	0,21
98595	Вертикальный	800×200	—	800×400×200	65	8	6300	0,135
K13	Горизонтальный	550×550	300—450	550×230×550	125	12	5120	0,146
L2	Вертикальный	600×700	320—400	600×700	72	6	6000	—

3.25. Техническая характеристика карусельных машин с гидравлическим приводом и вертикальным разъемом кокиля

Модель машины	Наибольшая масса отливки в кг	Размер плит для крепления полуформ в мм	Наименьшее расстояние между плитами в мм	Ход плиты в мм	Усилие заpirания кокиля в тс	Число позиций	Время поворота на одну позицию в с	Производительность (отливок в час)	Диаметр карусели в м	Высота карусели над уровнем пола в м	Масса машины в т
59K613	10	500×400	500	400	4,0	6	6	До 180	4,6	2,35	25,0
59K815	20	800×630	500	500	12,5	8	8	До 120	6,3	1,59	39,5

Полуавтоматическая однопозиционная машина с вертикальным разъемом кокиля и гидравлическим приводом (рис. 3.34) предназначена для получения алюминиевых отливок сложной конфигурации с большим числом металлических стержней, расположенных в разных плоскостях. Возможно также использование песчаных стержней.

В случае установки задней сменной стержневой головки (на схеме не показана) перемещение металлических стержней осуществляется в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению движения правой 7 и левой 1 подвижных головок.

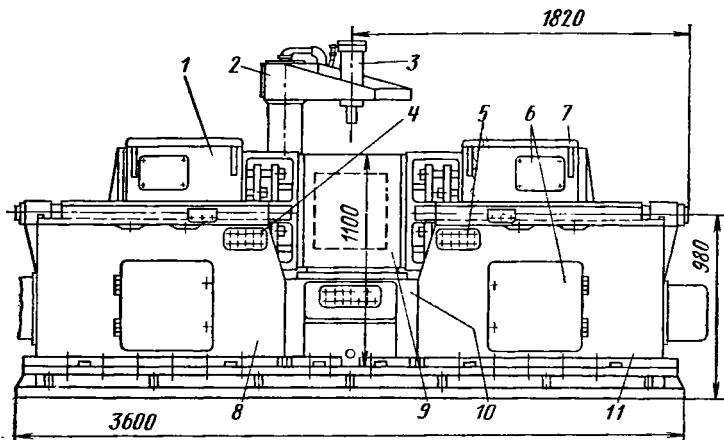


Рис. 3.34. Полуавтоматическая однопозиционная машина с вертикальным разъемом кокиля

Полуформы кокиля 9 крепят к подвижным головкам 1 и 7 болтами. Головки имеют возвратно-поступательное движение по направляющим станин 8 и 11. К головкам крепят плиты металлических стержней и плиты толкателей, а также фиксирующие устройства 5, исключающие возможность смещения головок при закрытии кокиля. Подвижные головки, блоки стержней, толкатели и фиксаторы перемещаются при помощи гидравлической системы, расположенной внутри корпуса правой и левой головок.

Блоки стержней (стержни и плиты) — сменные и зависят от размеров и конфигурации отливки. Верхняя стержневая головка 3 предназначена для перемещения металлических стержней в вертикальном направлении. Она может перемещаться вдоль рукава 2, который, в свою очередь, может поворачиваться вместе с вертикальной колонной. Нижняя стержневая головка предназначена для установки песчаного стержня.

В средней станине 10 расположены электродвигатель и лопастной насос, обеспечивающие питание гидросистемы задней, нижней и верхней головок машины.

Подвижными головками управляют с кнопочного пульта 4. Осмотр и обслуживание механизмов осуществляют через крышки 6 станин и головок.

Типаж и основные параметры однопозиционных полуавтоматических кокильных машин, разработанных ВНИИСЛ (г. Одесса) приведены в табл. 3.23. Машины моделей 591П3 и 592П2 имеют пневматический привод, остальные — гидравлический.

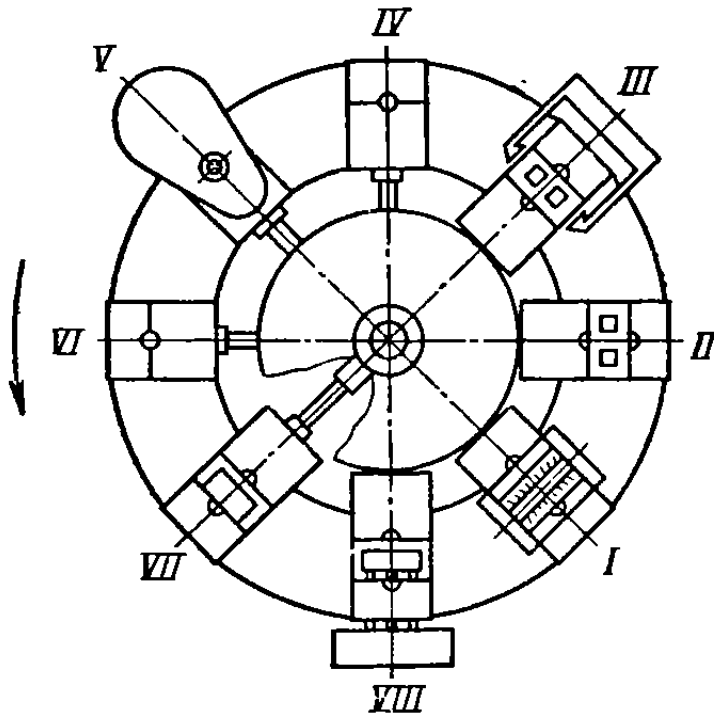


Рис. 3.35. Схема позиций на карусельной машине модели 59К815:

I — окраска кокиля; *II* — сборка стержней; *III* — обдувка кокиля; *IV* — закрытие кокиля; *V* — заливка; *VI* — охлаждение отливки; *VII* — раскрытие кокиля; *VIII* — выталкивание отливки

На восьмипозиционной карусельной кокильной машине модели 59К815 (рис. 3.35 и табл. 3.25) все технологические операции в пределах одного цикла: заливка, кристаллизация и охлаждение отливки и кокиля, удаление отливки, очистка и нанесение краски на рабочую поверхность — выполняются на определенных позициях. Вращение карусели осуществляется гидромеханическим устройством, которое обеспечивает точный поворот карусели на требуемый угол и фиксацию положения.

6. ОСВОЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОКИЛЕЙ

Освоение кокилей включает два основных этапа: доводку и наладку кокилей.

Под доводкой подразумевают корректирование геометрических размеров кокиля с учетом линейной усадки материалов кокиля и отливки и уточнение зазоров между подвижными частями кокиля. Для этого в кокиль производят пробную заливку сплава и полученную отливку размечают по чертежу. По обнаруженным при разметке отклонениям от заданных размеров исправляют кокиль. При пробной заливке выявляют заклинивающиеся места и изменяют зазоры сопрягающихся частей кокиля; уточняют оптимальные литейные уклоны формы и стержней. Следует учитывать, что увеличение зазоров и литейных уклонов сверх оптимальной величины снижает точность размеров отливки.

Наладка заключается в комплексе технологических мероприятий, позволяющих установить оптимальный тепловой режим кокиля, откорректировать размеры литниково-прибыльной системы, улучшить вентиляцию рабочих полостей формы с целью получения качественных отливок без дефектов.

Для этого опытные отливки подвергают полному металлографическому контролю с целью определения возможных внутренних дефектов, зон их распространения и, что особо важно, их повторяемости в отливке. Только на основании этого можно установить действительные причины возникновения дефектов и меры по их устранению.

При корректировании литниковой системы обычно увеличивают входное сечение питателя или сечение коллектора; реже приходится изменять место подвода питателя. В последнем случае прежний питатель заделывают вставками. Сначала размеры питателей, коллекторов и прибылей обычно выполняют минимально допустимыми, чтобы установить их оптимальную величину при наладке.

Для устранения дефектов усадочного характера наряду с корректировкой размеров литниково-прибыльной системы часто приходится изменять тепловой режим отдельных участков кокиля. Это достигают изменением температуры подогрева кокиля; применением более теплопроводных (по сравнению с материалом кокиля) вставок; установкой холодильников в песчаных стержнях; устройством водоохлаждения; нанесением (или снятием) слоя краски определенной толщины.

Кокильные краски имеют большое значение для получения качественных отливок (табл. 3.26 и 3.27). Окраска рабочей поверхности кокиля улучшает товарный вид и чистоту поверхности отливок; предупреждает приваривание отливок к кокилю; повышает стойкость кокилей. Кроме того, краска влияет на скорость теплоотдачи и, следовательно, на процесс кристаллизации отливки: чем тоньше слой краски, тем больше теплоотдача и интенсивнее процесс кристаллизации, и наоборот.

Свойства той или иной краски определяются ее составом и величиной помола наполнителя. Краски, наполнителем которых является окись

3.26. Состав кокильных красок для отливок из алюминиевых сплавов в % по массе

Назначение краски	Окись цинка	Мел	Графит	Асбест молотый	Жидкое стекло	Вода
Для мелких и средних отливок	5,0	—	—	—	2,0	93,0
	5,0	—	1,5	—	—	93,5
Для тонкостенных и сложных отливок	5,0	—	1,5	—	1,5	92,0
	—	8,0	5,0	—	3,0	84,0
Для крупных, толстостенных отливок	3,0	4,0	5,0	—	3,0	85,0
	—	15	8,0	—	4,0	73,0
Для литниковых систем и прибылей	2,0	3,0	—	7,0	1,5	86,5
	—	10,0	—	8,0	4,0	78,0

3.27. Состав кокильных красок для отливок из магниевых сплавов в % по массе

Назначение краски	Мел	Тальк	Окись цинка	Графит	Асбест	Борная кислота	Жидкое стекло	Вода (горячая)
Для мелких и средних отливок	6	—	—	—	—	3	—	91
Для крупных отливок	—	8,5	—	—	—	3	3	85,5
Для крупных сложных отливок	—	—	15,5	—	—	4	2	78,5
Для литниково-прибыльной системы	25,5	—	—	7,0	—	3,5	—	64,0
Для стержней	—	—	—	—	10,5	3,5	1,5	84,5
	—	—	—	2,0	—	5,0	2,0	91,0

цинка, обладают хорошей смачиваемостью, обеспечивают большую прочность сцепления с кокилем и ложатся тонким ровным слоем. Краски с мелом и тальком дают более шероховатую поверхность; асбестовые краски плохо ложатся на поверхность кокиля и обладают очень низким коэффициентом теплопроводности. Наполнители красок для магниевых сплавов должны иметь более грубый помол для лучшего отвода воздуха; в их состав включают борную кислоту для предотвращения окисления сплава.

Толщина слоя краски, наносимой на рабочую поверхность формы, составляет 0,1—0,3 мм. Теплоизоляционная краска наносится на поверхности литниковой системы слоем 0,5—1 мм и прибылей —2—3 мм. Кроме того, прибыли часто утепляют листовым асбестом.

Газовые дефекты (раковины и пористость) в отливке свидетельствуют о недостаточной вентиляции полости формы: воздух не успевает удалиться из формы через зазоры и вентиляционные каналы, захватывается сплавом и образует дефекты в отливке. Для улучшения вентиляции увеличивают число вентиляционных каналов, в глухих карманах сверлят отверстия для установки дополнительных вент.

Технологический цикл при литье в обычный, не автоматизированный, кокиль включает подготовку кокиля, его сборку, заливку, разборку и удаление отливки. При подготовке кокиля производят его осмотр и очистку. Затем кокиль подогревают, окрашивают и утепляют литниковую систему. Для увеличения теплоотдачи поверхность формы очищают от краски в местах, указанных в технологической карте. После этого очищают вентиляционные каналы, смазывают графитом трущиеся поверхности, обдувают кокиль сжатым воздухом и нагревают перед заливкой.

При сборке кокиля производят тщательный осмотр песчаного стержня, правильность его установки контролируют шаблоном. Зазоры между песчаным стержнем и стенкой кокиля контролируют щупами. После установки боковых металлических стержней кокиль обдувают и собирают. Затем устанавливают верхние металлические стержни, литниковую чашу и проверяют зазоры по плоскостям разъемов.

Сплав в кокиль заливают нагретым ковшем или мерной ложкой: температуру сплава в самом ковше измеряют только при получении крупных и тонкостенных отливок.

После заливки сплава в кокиль остатки сплава из ковша сливают в изложницу; с кокиля удаляют литниковую чашу, выдерживают кокиль в течение определенного времени для охлаждения отливки, подрывают металлические стержни и вынимают их. Затем освобождают замковые устройства кокиля и удаляют отливку.

При получении высоких отливок с верхней или вертикально-щелевой литниковой системой обычно производят кантовку кокиля в процессе заливки. Струя сплава в этом случае спокойно заполняет полость формы, постепенно вытесняя воздух и газы, образующиеся при сгорании песчаных стержней.

Литье в кокиль можно успешно сочетать с другими специальными видами литья, такими как вакуумное всасывание, литье под низким давлением, центробежное литье, полужидкая штамповка. Такими комбинированными способами литья удастся получать очень сложные качественные отливки. Например, при вакуумном всасывании сплава в полость сложного кокиля можно получать сложные отливки со стенками толщиной меньше 3 мм без неслитин и недоливов. Плотные тонкостенные и оребренные отливки типа крыльчаток получают литьем в кокиль на центробежных машинах с вертикальной осью вращения. Высокие механические свойства толстостенных отливок несложной конфигурации обеспечиваются при кристаллизации сплава в нагретом кокиле под давлением прессующего плунжера.

7. ОСОБЕННОСТИ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ АЛЮМИНИЕВЫХ И МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Алюминиевые сплавы на основе системы Al—Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9, ВАЛ5) обладают хорошими литейными свойствами и широко применяются для литья в кокиль сложных отливок. Эти сплавы можно не подвергать модифицированию, так как скорость кристаллизации при литье в кокиль не очень толстых отливок значительно выше, чем при литье в песчаные формы.

Основной недостаток сплавов системы Al—Si — склонность к образованию рассеянной газовой пористости в отливках. Это обусловлено тем, что при кристаллизации алюминиевых сплавов с повышенным содержанием кремния происходит активное выделение водорода из жидкого раствора, а так как скорость кристаллизации при литье в кокиль высока, то выделившийся водород не успевает удалиться из отливки и образует в ней мелкие газовые поры. Поэтому при литье силуминов следует уделять особое внимание способам рафинирования жидкого сплава и защиты его от газонасыщения и окисления. Следует учитывать также, что водород в жидких силуминах образует устойчивые комплексы с окисью алюминия.

При литье в кокиль протяженность каналов литниковой системы значительно меньше, чем при литье в песчаные формы и, следовательно, также меньше возможность для задержания окисных плен. Поэтому при литье в кокиль силуминов следует применять изогнутые стояки (типа змеевидных или «гусиной шейки»), в которых обеспечиваются лучшие условия для удержания окисных плен, а также использовать в отдельных элементах литниковой системы фильтрующие сетки.

Алюминиевые сплавы на основе системы Al—Si—Cu (АЛ3, АЛ5, АЛ4М, В124) в меньшей степени, чем силумины, склонны к образованию пористости в отливках. Их литейные свойства несколько ниже, однако

при правильном выборе теплового режима кокиля из этих сплавов получают очень сложные, разностенные отливки типа головок цилиндров, крыльчаток.

Сплавы на основе системы Al—Cu (АЛ7, АЛ19, АЛ21) обладают пониженными литейными свойствами и характеризуются склонностью к образованию горячих трещин при затрудненной усадке отливок. При литье в кокиль этих сплавов применяют обычно податливые песчаные или оболочковые стержни, часто используют верхнюю литниковую систему (с кантовкой кокиля при заливке), обеспечивающую лучшие условия для последовательной кристаллизации отливок снизу вверх. Увеличение размеров прибылей для питания массивных тепловых узлов отливок из сплавов системы Al—Cu не дает положительного эффекта, так как металлостатический напор в прибылях недостаточен для пропитки междендритных усадочных пустот. Наиболее эффективным является сочетание охлаждения массивного узла снизу (проточной водой, установкой теплопроводных вставок, снятием слоя краски) и разогрева прибыли над тепловым узлом доливкой в нее горячего сплава. Прибыли следует утеплять листовым асбестом или асбестовой краской. Для повышения литейных свойств в сплаве АЛ7 допускается содержание (по ГОСТ 2685—63) до 3% кремния.

Сплавы на основе системы Al—Mg (АЛ8, АЛ13, АЛ22, АЛ23, АЛ27) склонны к окислению в жидком состоянии и образованию включений окисных плен в отливках. Защиту сплавов от окисления осуществляют нанесением на поверхность расплава покровного флюса или введением в сплав бериллия (сотые доли процента), который способствует образованию на поверхности расплава плотной окисной пленки. При заливке этих сплавов следует осторожно отодвинуть слой флюса, не нарушая сплошности его покрова, а после заливки насыпать на зеркало сплава порцию свежего флюса.

По литейным свойствам сплавы системы Al—Mg занимают среднее положение между сплавами системы Al—Si—Cu и системы Al—Cu.

Литейные магниевые сплавы быстро охлаждаются в полости кокиля и теряют жидкотекучесть. Поэтому при литье в кокиль магниевых сплавов требуются повышенная температура заливки, как правило, не ниже 710°C , а также из-за большой объемной усадки магниевых сплавов простановка массивных утепленных прибылей и доливка в них горячего сплава. При заливке магниевых сплавов происходит интенсивное окисление, а иногда и возгорание струи сплава. С целью устранения этого поверхность струи опыляют серой, а в состав кокильных красок и стержневых смесей вводят борную кислоту.

Поперечные сечения литниковых каналов для магниевых отливок должны быть больших размеров, чем для аналогичных алюминиевых отливок, что обеспечивает спокойное заполнение формы сплавом, без завихрений и захвата воздуха. Магниевые сплавы склонны к образованию трещин в отливках при затрудненной усадке, поэтому следует применять песчаные стержни, а в случае использования металлических стержней — быстро производить их «подрыв». Массивные тепловые узлы в магниевых отливках часто охлаждают с помощью холодильников из медной или стальной арматуры, при этом арматуру перед установкой в форму следует оцинковывать или кадмировать.

Кокильные отливки из магниевых сплавов имеют высокую удельную прочность, красивый товарный вид. Они находят все большее применение в моторостроении, приборостроении и других отраслях.

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Процесс литья под давлением предназначен для серийного или массового производства тонкостенных, сложных по конфигурации отливок, максимально приближающихся по размерам к готовой детали.

Основные достоинства литья под давлением:

- 1) возможность получения сложных (в том числе армированных) отливок с тонкими стенками (0,8—8 мм), с готовыми отверстиями, мелкими резьбами и надписями;
- 2) точность размеров отливок соответствует 3—5-му классам точности по ОСТ 1014 и 1015;
- 3) шероховатость поверхности соответствует 5—8-му классам чистоты по ГОСТ 2789—59;
- 4) высокая производительность и экономичность;
- 5) возможность механизации и автоматизации технологического процесса.

Высокая стоимость технологической оснастки и некоторые специфические особенности литья под давлением, обуславливающие трудность получения плотной структуры в массивных частях отливок, а также трудность (или невозможность) получения отливок с поднутрениями являются факторами, ограничивающими область применения этого метода литья. Литье под давлением рентабельно при серийном производстве отливок (более 1000 отливок в год).

Для литья под давлением применяют следующие алюминиевые сплавы: АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ5, АЛ9, АЛ11, АЛ13, АЛ22, АЛ29, АЛ32, (ГОСТ 2685—63), а также сплавы ВАЛ5 и В124 (ОСТ 1.90004—70). Общий недостаток всех алюминиевых сплавов — это прилипаемость к поверхности рабочей полости формы и к стержням в местах наибольшего разогрева. Для уменьшения прилипаемости в сплавы можно вводить железо. ГОСТ 2685—63 предусматривает повышение допустимого содержания примеси железа в алюминиевых сплавах, предназначенных для литья под давлением. Однако железо ухудшает механические и антикоррозионные свойства сплавов.

• Сплавы на основе системы Al—Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9, ВАЛ5) склонны к газовой пористости и к образованию концентрированных усадочных раковин в массивных частях отливки, затвердевающих в последнюю очередь. Поэтому в отливках из этих сплавов следует избегать значительных местных утолщений.

Сплавы на основе системы Al—Si—Cu (АЛ3, АЛ5, АЛ32, В124) имеют повышенные механические свойства, но легирование медью ухудшает коррозионную стойкость и литейные свойства сплавов. Эти сплавы менее склонны к образованию газовой пористости в отливках. Внедрение прогрессивной технологии литья под давлением («акьюрэд»-процесс, вакуумирование полости формы с последующей подпрессовкой) дает возможность проведения термической обработки отливок с целью повышения их прочностных свойств и открывает перед этой группой сплавов широкую перспективу их использования.

Сплавы на основе системы Al—Mg (АЛ13, АЛ22, АЛ29) обладают высокой коррозионной стойкостью, хорошо обрабатываются резанием. Однако их литейные свойства невысокие, что обусловлено широким температурным интервалом их кристаллизации. Сплавы склонны к окислению в жидком состоянии, что усложняет технологию их приготовления и требует защиту поверхности расплава в раздаточных печах.

Сплав на основе системы Al—Zn (АЛ11) обладает хорошими литейными свойствами, является самозакаляющимся, однако отличается повышенной плотностью и низкой коррозионной стойкостью.

Для литья под давлением применяют следующие магниевые сплавы; Мл5, Мл5п.ч., Мл6 (ГОСТ 2856—68). Существенные недостатки, присущие всем магниевым сплавам, а именно: низкая коррозионная стойкость (даже в обычных атмосферных условиях), низкие литейные свойства (малая жидкотекучесть, склонность к образованию горячих трещин) и повышенная окисляемость—ограничивают области их применения. Перспективы более широкого внедрения магниевых сплавов для литья под давлением связаны с развитием технологического процесса подпрессовки. Однако ввиду низкой теплоемкости магниевых сплавов их подпрессовка эффективна только при изготовлении крупных отливок с толщиной стенки не менее 3,5 мм и при быстром заполнении формы (скорость прессования до 5—8 м/с) [6].

1. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОТЛИВОК

Технологичность отливки, получаемой литьем под давлением, определяет требования к ее конструкции, которая должна обеспечивать следующее:

- 1) проектирование формы с минимальным числом плоскостей разъема;
- 2) легкое заполнение сплавом полости формы;
- 3) беспрепятственное удаление отливки из формы;
- 4) оптимальные по толщине и равномерные по сечению стенки отливки, сопрягаемые плавными переходами;
- 5) жесткость конструкции с целью исключения коробления отливки.

3.28. Минимальная толщина стенок отливок в мм

Площадь поверхности отливки в см ²	Сплавы	
	алю- мни- евые	маг- ни- евые
До 25	1,0	1,3
» 150	1,5	1,8
» 250	2,0	2,5
» 400	2,5	3,0
Свыше 400	4,0	4,0

Размеры и масса отливки ограничиваются объемом камеры прессования, усилиями и размерами машин для литья под давлением. Максимально допустимую площадь проекции отливки определяют по формуле

$$F = \frac{0,85 \cdot Q}{p},$$

где F — площадь проекции отливки на подвижную плиту формы в см²; Q — усилие

запирания в кгс; p — давление в камере прессования в кгс/см².

Толщина стенок отливки, чтобы исключить образование рыхлот, воздушных включений, не должна превышать 6—8 мм. Оптимальная толщина стенок определяется условиями работы детали и требованиями к ее механическим свойствам. Следует учитывать, что уменьшение толщины стенки приводит к повышению прочностных свойств при некотором уменьшении пластичности. Минимально допустимая толщина стенок зависит от площади поверхности отливки и применяемого сплава (табл. 3.28).

На наружных и внутренних поверхностях отливок, перпендикулярных плоскости разъема, следует предусматривать литейные уклоны

для облегчения съема отливки со стержней и удаления ее из формы. Для отливок алюминиевых и магниевых сплавов рекомендуют следующие оптимальные уклоны: по наружным размерам $0^\circ 45'$; по внутренним 1° . Минимальные уклоны (для посадочных поверхностей): по наружным размерам $0^\circ 15'$, по внутренним $0^\circ 30'$.

Наружные и внутренние углы отливок следует закруглять по радиусу 0,5—1 мм. В период кристаллизации внутренние углы могут быть концентраторами напряжений, а также «зонами слабину», что является причиной образования трещин в отливке. Поэтому минимальный радиус закругления для них должен быть не меньше 1 мм. С целью исклю-

3.29. Глубина литых отверстий в зависимости от их диаметра [2]

Отверстия			
глухие		сквозные	
d в мм	h	d в мм	h
>3	$3d$	>3	$4d$
<3	$2d$	<3	$3d$

Примечания: 1. d — диаметр отверстия; h — наибольшая глубина.

2. Конусность стенок отверстия должна быть не менее 1° . $d_{\min} = 2,5$ мм.

3.30. Минимальные диаметры литых резьб в мм (шаг резьбы 1 мм)

Сплав	Диаметр резьбы	
	наруж-ной	внутрен-ней
Алюминиевый	10	20
Магниевый	6	15

чения усадочных дефектов радиус сопряжения стенок следует принимать

$$R = \frac{a + b}{3},$$

где a и b — толщины сопрягаемых стенок.

Знаки и надписи на отливках должны быть выпуклыми и располагаться на поверхностях, параллельных плоскости разъема.

Отверстия малого диаметра (до 2,5 мм) необходимо выполнять сверлением, так как стержни малого диаметра быстро разрушаются. Отверстия диаметром более 2,5 мм (проходные и глухие) следует выполнять литыми, за исключением тех случаев, когда значительно усложняется форма или не обеспечиваются допуски на размеры и расположение отверстий из-за теплового расширения формы. Зависимость глубины литых отверстий от диаметра в отливках из алюминиевых и магниевых сплавов приведена в табл. 3.29.

Наружную резьбу рекомендуется получать литьем, так как при этом исключается механическая обработка, а оформление резьбы не вызывает затруднений. Внутреннюю резьбу в отливках получают с помощью резьбовых вставок, которые вывинчивают из отливки после ее удаления из формы. Вывинчивание резьбовых вставок — трудоемкая операция, поэтому минимальный допустимый диаметр внутренних литых резьб значительно больше, чем наружных (табл. 3.30).

Прочность и жесткость отливок увеличивают за счет ребер жесткости, толщина которых составляет 0,8—1,0 δ (наружные ребра) или 0,6—0,8 δ (внутренние ребра), где δ — толщина сопрягаемых стенок.

Точность отливки зависит от точности изготовления и степени износа пресс-формы, а также от величины колебаний усадки сплава. Зависимость величины литейной усадки (свободной и затрудненной) алюминиевых и магниевых сплавов от толщины стенки отливки при литье под давлением приведена в табл. 3.31.

3.31. Усадка сплавов в % в зависимости от толщины стенки отливки

Сплавы	Усадка при толщине стенки			
	от 1 до 3 мм		свыше 3 мм	
	свободная	затрудненная	свободная	затрудненная
Алюминиевые	0,6	0,5	0,7	0,6
Магниевые	0,7	0,6	0,8	0,7

Литье под давлением обеспечивает получение отливок 1—3-го классов точности по АН 1026. Следует учитывать, что с увеличением точности изготовления отливок возрастает себестоимость литья. Поэтому отливки изготавливают по 2—3-му классам точности, в особых случаях, а также для отдельных размеров назначают 1-й класс точности. При этом предусматривают специальную доводку размеров формы при ее освоении и эксплуатации.

Величины допусков на размеры отливок, получаемых литьем под давлением по 1—3-му классам точности, приведены в табл. 3.32.

3.32. Предельные отклонения размеров литых деталей 1—3-го классов точности в мм

Класс точности	Обозначение допуска	Наибольший габаритный размер детали в мм								
		До 16	Свыше 16 до 25	Свыше 25 до 40	Свыше 40 до 60	Свыше 60 до 100	Свыше 100 до 160	Свыше 160 до 250	Свыше 250 до 400	Свыше 400 до 630
1	ДЛт1	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20	—
	ТЛт1	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	—
	МЛт1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,25	0,30	—
2	ДЛт2	0,07	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20	0,30	0,40	—
	ТЛт2	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20	0,30	—
	МЛт2	0,10	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	—
3	ДЛт3	—	—	—	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
	ТЛт3	—	—	—	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
	МЛт3	—	—	—	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0

Примечание. Д — размеры необрабатываемых длин (диаметров); Т — размеры толщин (стенок, ребер, фланцев и т. п.); М — размеры между необрабатываемыми и обрабатываемыми поверхностями (включая толщины тел).

Литьем под давлением в новых формах с полированной рабочей полостью достигается шероховатость поверхности отливок, соответствующая 7—8-му классам чистоты по ГОСТ 2789—59. Однако с течением времени в результате износа формы поверхность отливок ухудшается. Средние значения шероховатости поверхности отливок соответствуют обычно 5—6-му классам чистоты.

Отливки, полученные литьем под давлением, подвергают механической обработке только в тех случаях, когда из-за износа формы не обеспечивается требуемая точность и чистота поверхности, когда невозможно получить отдельные «классные» размеры с заданной точностью, когда необходимо калибрование резьбы. Припуск на механическую обработку выбирают в зависимости от наибольшего габаритного размера отливки (табл. 3.33).

3.33. Припуски на механическую обработку отливок в мм

Наибольший габаритный размер в мм	Номинальный размер отливки в мм			
	до 50	50—120	120—260	260—500
До 50	0,3	—	—	—
50—120	0,4	0,5	—	—
120—260	0,5	0,7	0,8	—
260—500	0,7	0,8	1,0	1,0

Армирование отливок из алюминиевых и магниевых сплавов втулками, вкладышами, трубками и подобными деталями из других материалов значительно расширяет области применения литья под давлением. Армирование дает возможность получать сложные комбинированные детали со специальными физико-технологическими свойствами: магнитными, электрическими, тепловыми, прочностными и т. д. Арматура должна прочно соединяться с телом отливки. Для этого на поверхности заливаемой части арматуры делают накатку, канавки, прорези, выступы, насечки, предотвращающие возможность поворота арматуры и смещения ее в продольном направлении. Арматура препятствует свободной усадке отливок и способствует образованию трещин, поэтому конструкция ее не должна иметь острых углов, выступов и других источников концентрации напряжений в отливке. Минимально допустимое расстояние от торца отливки до поверхности арматуры должно быть для алюминиевых сплавов 1,2 мм; для магниевых сплавов — 1,4 мм.

Примеры выполнения отдельных элементов конструкции отливок, получаемых литьем под давлением, показаны на рис. 3.36.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ И ВЕНТИЛЯЦИЯ ФОРМЫ

При выборе типа литниковой системы руководствуются тем, что она должна обеспечивать условия для последовательного заполнения и вентиляции формы; быть технологична в изготовлении и удобна при эксплуатации формы.

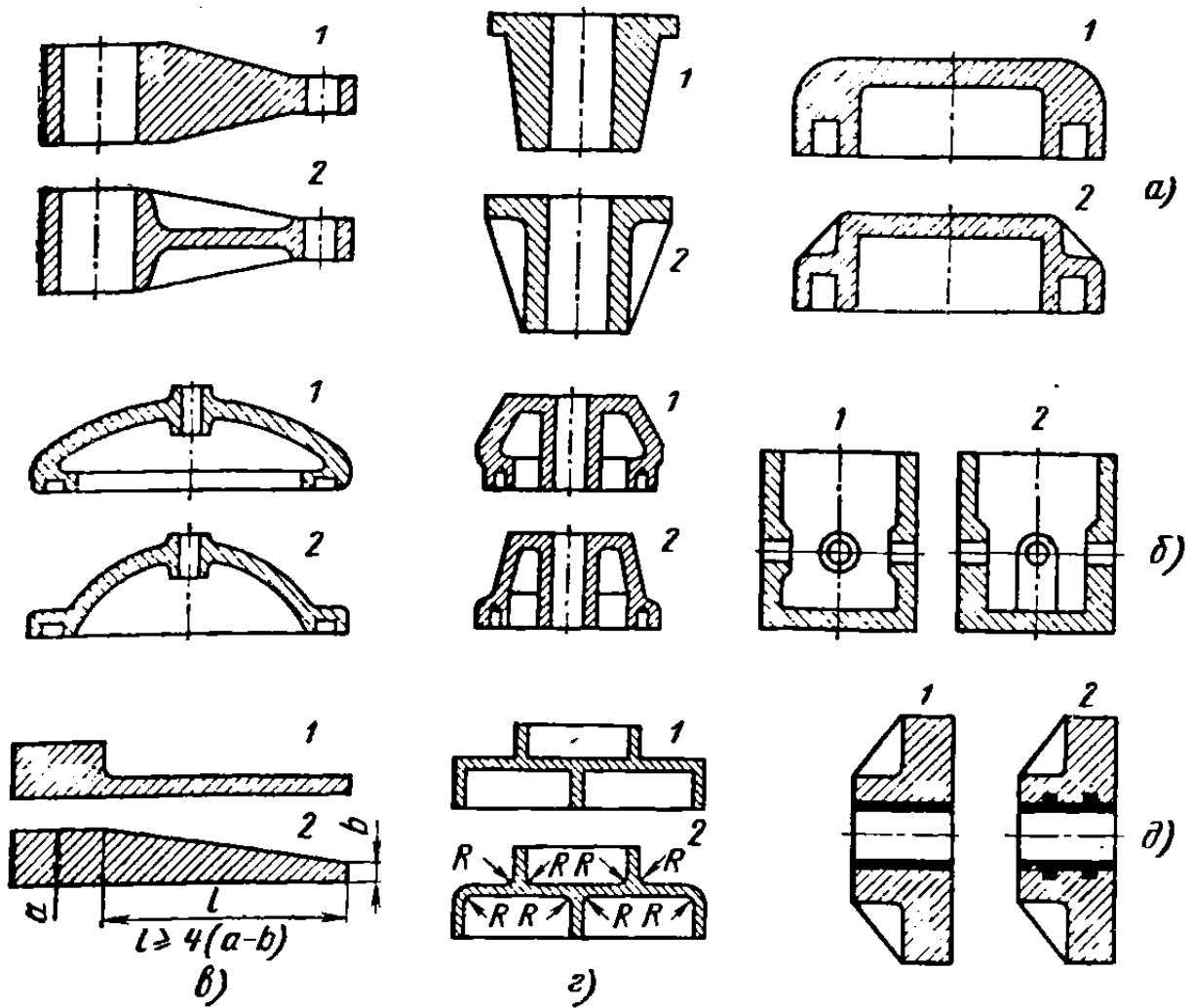


Рис. 3.36. Схема выполнения элементов конструкции отливок:

a — стенок; *б* — полостей; *в* — сопряжений стенок; *г* — радиусов и галтелей; *д* — установка арматуры: 1 — неправильно; 2 — правильно

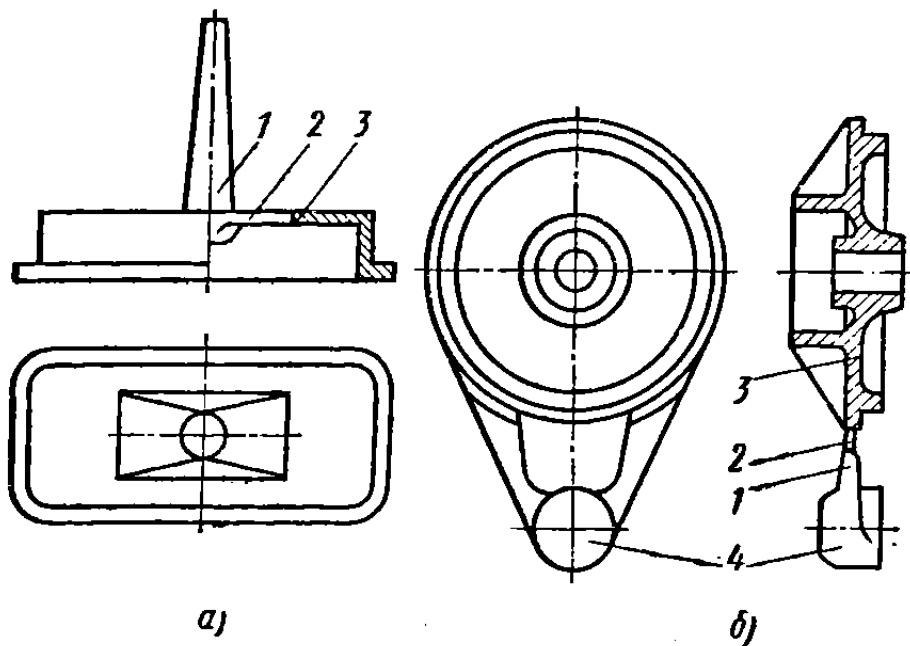


Рис. 3.37. Литниковые системы при литье под давлением: 1 — литниковый ход; 2 — питатель; 3 — отливка; 4 — прессостаток

В зависимости от положения питателя относительно проекции отливки на плоскость разъема литниковые системы делят на два типа:

- 1) внутренние — подвод сплава осуществляется внутри контура проекции отливки (рис. 3.37, а);
- 2) внешние — подвод сплава осуществляется к внешнему контуру проекции отливки (рис. 3.37, б).

Внутренняя литниковая система уменьшает размеры формы, обеспечивает лучшее запираение формы (по сравнению с внешней системой), позволяет получать отливки с глубокой плоскостью при небольшой длине литникового хода и минимальном расходе металла на литниковую систему, затрудняет отделение питателя от отливки и зачистку отливки, не позволяет изготавливать многогнездные формы.

Внешняя литниковая система увеличивает размеры форм, но она удобна при отделении питателя и зачистке отливки; кроме того, позволяет изготавливать многогнездные формы.

Возможны три режима заполнения формы простейшей конструкции сплавом (рис. 3.38). Режимы I и II, обеспечивающие направленный выход воздуха и газов из полости формы, позволяют получать отливки с минимальной пористостью и лучшей чистотой поверхности. При режиме III

сплав перекрывает вентиляционные каналы уже в начале заполнения, что затрудняет выход воздуха и газов из полости формы и приводит к образованию пористости и раковин в отливках, а появляющиеся разрывы потока сплава ухудшают качество поверхности отливок. В формах сложной конструкции из-за различных преград на пути сплава (стержней, изгибов, выступов и т. п.) возможны различные режимы заполнения отдельных участков. Поэтому литниковая система (вместе с вентиляционной системой) должна создавать наиболее благоприятные условия для заполнения всех полостей формы по первым двум режимам.

Оценка режимов произведена из условий заполнения полости формы без подпрессовки. Использование машин с подпрессовкой показало, что уплотнение в большинстве случаев достигается легче при дисперсном потоке, чем при сплошном напорном.

Тот или иной режим заполнения устанавливают в зависимости от отношения поперечного сечения питателя к поперечному сечению полости формы в месте подвода (табл. 3.34).

Сечение питателя определяет форму и направление потока сплава в начале заполнения формы, величину сопротивления движению прессыющего поршня; влияет на скорость потока.

С увеличением сечения питателя улучшается качество простых по конфигурации отливок, однако возрастает трудоемкость зачистных работ.

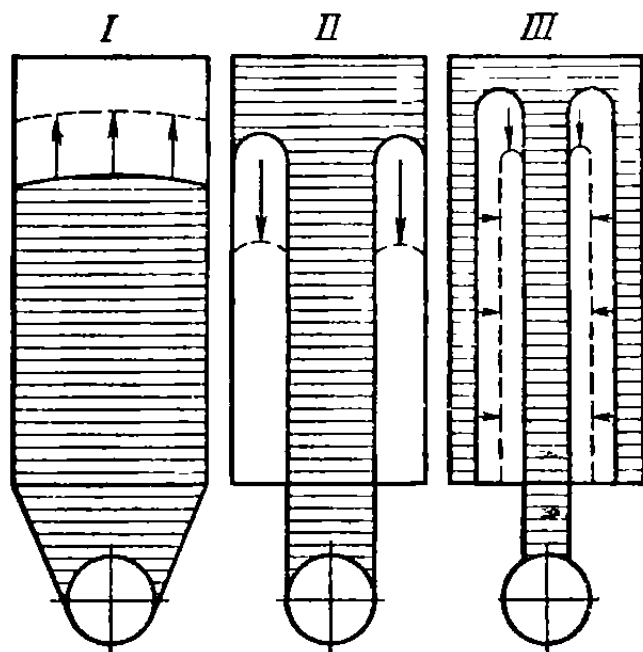


Рис. 3.38. Схемы процессов заполнения формы сплавом (стрелками показано направление вытеснения воздуха)

Для расчета сечения питателя используют обычно практические способы, основанные на использовании коэффициентов, выведенных при обобщении производственного опыта, а также графики и номограммы. Площадь поперечного сечения питателя находят по формуле

$$f = \frac{G}{\rho v \tau}, \quad (1)$$

где G — масса отливки в г;
 ρ — плотность сплава в г/см³;
 v — скорость впуска в м/с;
 τ — продолжительность заполнения формы в с.

3.34. К определению режимов заполнения формы

Режим заполнения	Отношение сечения питателя к сечению полости формы	Отношение толщины питателя к толщине тела отливки
I	0,85—1,0	0,8—1,0
II	0,4—0,85	0,5—1,0
III	0,4	0,5

Однако расчеты скорости впуска и продолжительности заполнения трудоемки, поэтому вместо произведения $v\tau$ в формулу (1) вводят коэффициенты, проверенные производственной практикой, которые учитывают особенности сплава, сложность отливок и т. п.

Основываясь на обеспечении нормальной скорости впуска $v_0 = 15$ м/с при продолжительности заполнения формы $\tau_0 = 0,06$ с, А. К. Белопухов [5] представил скорость впуска v и время заполнения τ в виде следующих выражений:

$$v = v_0 k_1 k_2, \quad (2)$$

$$\tau = \tau_0 k_3 k_4, \quad (3)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий сложность отливки;
 k_2 — коэффициент, учитывающий влияние давления на сплав в камере прессования;
 k_3 — коэффициент, зависящий от природы сплава;
 k_4 — коэффициент, зависящий от средней толщины стенки отливки.
 После подстановки выражений (2) и (3) в формулу (1) получим

$$f = 1,1 \frac{G}{\rho k_1 k_2 k_3 k_4} \text{ мм}^2.$$

Значения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 и k_4 для отливок массой до 1 кг приведены ниже.

Отливка	k_1	Давление в кгс/см ²	k_2
Простая, толстостенная . . .	0,75	До 200	2,50
Коробчатого сечения . . .	1,00	200—400	2,00
Сложная	1,50	400—600	1,75
Очень сложная с тонкими стенками	2,00	600—800	1,50
		800—1000	1,25
		Свыше 1000	1,00
Сплав	k_3	Средняя толщина стенок в мм	k_4
Алюминиевый	0,9	До 1	0,50
Магниевого	0,85	1—2	0,75
		2—4	1,00
		4—6	1,15
		6—9	1,30

Расчетное сечение питателя корректируют в процессе освоения отливки.

Место подвода литника выбирают с учетом создания наиболее благоприятных условий для заполнения полости формы и для проведения обрубных и зачистных операций. Направление потока сплава из питателя должно обеспечивать последовательное заполнение и вентиляцию формы. Для предупреждения быстрого износа выступающих частей формы и стержней, расположенных вблизи питателя, а также с целью предупреждения прилипания алюминиевого сплава к перегретым участкам формы следует направлять поток сплава на преграду по касательной (в случаях, когда конструкция отливки не позволяет выбрать другое, более рациональное место подвода сплава). Поток сплава вблизи места подвода не должен растекаться и разделяться на отдельные струи, что может вызвать образование газовых дефектов (раковин, крупной пористости), а также неслитин в отливке. Для удобства зачистки и сохранения качества поверхности следует подводить сплав к участкам отливки, подвергаемым механической обработке.

Одногнездную форму необходимо заполнять через один питатель. Несколько питателей применяют обычно в тех случаях, когда необходимо сократить путь движения сплава в форме; исключить удар потока сплава о стержни или выступы; когда один питатель не может обеспечить заполнение формы по режимам I или II.

Подробные данные по конструктивному оформлению питателя, литникового хода и рассекателя приведены в каталоге-справочнике.

При литье под давлением воздух и газы удаляются из полости формы через специальные вентиляционные каналы или через зазоры в сопряженных частях формы. Вентиляционные каналы выполняют в плоскости разъема на неподвижной половине формы, а также вдоль подвижных стержней и выталкивателей. Для литья алюминиевых и магниевых сплавов рекомендуют вентиляционные каналы глубиной 0,05—0,15 мм и шириной 10—30 мм. Для улучшения вентиляции каналы на расстоянии 20—30 мм от рабочей полости формы углубляют до 0,5 мм или соединяют общим коллектором, сообщающимся с атмосферой. Суммарная площадь сечения каналов должна обеспечивать надежную вентиляцию формы.

В местах встречи потоков сплава, а также напротив полостей формы, заполняемых сплавом в последнюю очередь, предусматривают спе-

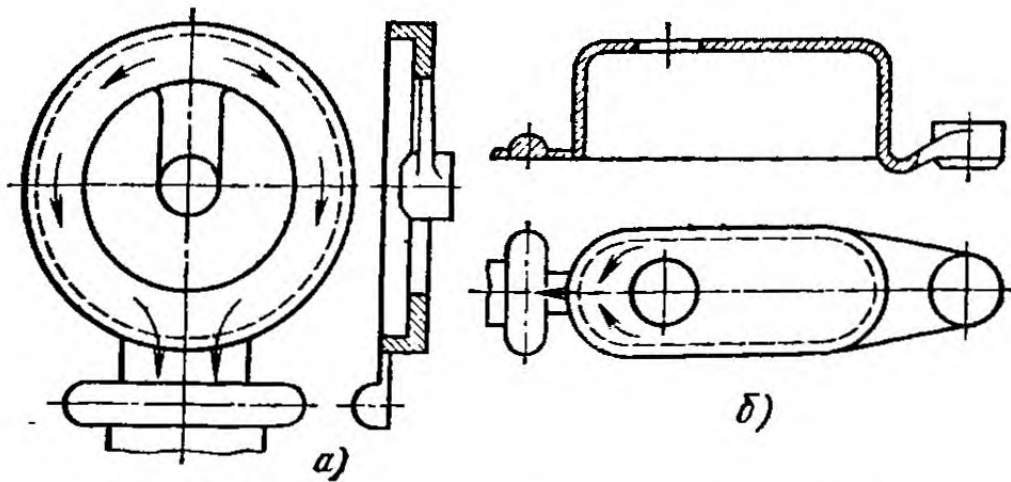


Рис. 3.39. Литьевые системы с промывниками:
 а — внутренняя; б — внешняя

циальные сливные резервуары-промывники (рис. 3.39). Объем промывника должен составлять 20—50% объема вентилируемой полости. Промывники располагают на расстоянии 5—10 мм от кромки вентилируемой полости и соединяют с ней каналом глубиной 0,4—0,8 мм.

3. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Давление прессования. Давление p на сплав в камере прессования определяется при данном усилии прессования машины диаметром камеры d :

$$p = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

Величина требуемого давления зависит от физических свойств заливаемого сплава, сложности и толщины стенок отливки, температуры сплава и формы. Повышение давления прессования является одним из наиболее эффективных средств устранения дефектов и получения плотных отливок, в особенности из магниевых сплавов, так как их теплофизические свойства и жидкотекучесть ниже чем алюминиевых.

Рекомендуемые минимальные давления прессования в зависимости от конфигурации отливок из алюминиевых и магниевых сплавов приведены в табл. 3.35. Для получения плотных крупногабаритных отли-

3.35. Рекомендуемые минимальные давления прессования в кгс/см²

Сплав	Отливка с толщенной стенки					
	до 3 мм			до 6 мм		
	Простая	Сложная	Очень сложная	Простая	Сложная	Очень сложная
Алюминиевый	350	450	500	600	650	800
Магниевый	400	550	600	700	800	1000

вок величина давления прессования должна быть больше указанных. Оптимальное давление прессования устанавливают опытным путем для каждой отливки (или группы аналогичных отливок).

Запирающее усилие. Запирающее усилие Q должно быть больше противодействия, создаваемого сплавом в форме, чтобы исключить раскрытие формы и выброс сплава по разъему. Противодействие

$$Q_{\text{пр}} = pF,$$

где p — давление прессования в кгс/см²;

F — суммарная площадь проекции отливки с литниковой системой и промывниками на подвижную плиту формы в см².

Условие надежного запираения формы выражается формулой

$$kQ = pF,$$

где k — коэффициент нагруженности запирающего механизма. При литье алюминиевых и магниевых сплавов рекомендуется $k = 0,85$.

Так как $p = \frac{P}{S}$, где P — усилие прессования машины, S — площадь прессующего плунжера, то

$$k = \frac{P}{Q} \cdot \frac{F}{S}.$$

Следует учитывать, что при $k > 0,85$ появляется опасность выброса сплава, а при значениях k , на много меньших рекомендованных, машина будет недогружена.

Диаметр камеры прессования. При установлении емкости камеры прессования следует стремиться к уменьшению ее диаметра (и соответственно диаметра прессующего поршня), так как при этом повышается давление на сплав и уменьшается объем прессостатка (табл. 3.36). Однако диаметр прессующего поршня не должен быть меньше минимально допустимого, определяемого из условий раскрытия формы:

$$D_{\text{min}} = 1,13 \sqrt{\frac{nPF}{Q}},$$

где n — коэффициент, зависящий от скорости прессования. Значения коэффициента n для относительно невысоких скоростей прессования приведены ниже:

Скорость прессования в м/с	0,43	0,73	1,00	1,30
n	1,0	1,2	1,6	1,8

На основе приведенного расчета подбирают стандартный диаметр камеры прессования.

Скорость прессования. Скорость прессования, т. е. скорость движения прессующего поршня, влияет на скорость заполнения сплавом формы и определяет режим заполнения. Чем выше скорость прессования, тем быстрее (и с наименьшей потерей теплоты) сплав заполнит

3.36. Расчетное давление в камере прессования в зависимости от ее диаметра

Марка машины	Диаметр камеры в мм	Расчетное давление в кгс/см ²	Максимальная масса порции алюминиевых сплавов в кг	Марка машины	Диаметр камеры в мм	Расчетное давление в кгс/см ²	Максимальная масса порции алюминиевых сплавов в кг
515	30	1835	0,30	516M	75	450	2,70
	35	1350	0,40		80	400	3,00
	40	1030	0,55		85	350	3,30
	45	920	0,75	517	65	1205	3,50
	50	665	0,85		70	1035	4,00
	55	550	1,00		75	905	4,60
	60	460	1,25		80	800	5,30
65	390	1,50	85		705	5,90	
516M	45	1255	0,95		90	630	6,70
	50	1015	1,20		95	555	7,40
	55	840	1,40	100	510	8,20	
	60	705	1,70	105	460	9,10	
	65	600	2,00	110	420	10,00	
	70	520	2,40	115	385	11,00	
					120	350	12,00

форму, тем лучше будет оформление наиболее тонких и удаленных полостей отливки. Однако при высоких скоростях прессования воздух не успевает выйти из полости формы и остается в отливке, образуя раковины и пористость. Поэтому скорость прессования должна быть оптимальной, соответствующей толщине и конфигурации отливки. Чем проще конфигурация и чем толще стенки отливки и сечение питателя, тем меньше оптимальная скорость прессования. Высокие скорости необходимы только для получения сложных тонкостенных отливок.

Скорость прессования $v_{пр}$ связана со скоростью впуска v уравнением

$$v_{пр} = v \cdot \frac{f}{S},$$

где f — суммарная площадь питателей в см²;
 S — площадь прессующего плунжера в см².

Значения скоростей впуска для получения отливок из алюминиевых и магниевых сплавов в зависимости от их сложности и толщины стенок приведены в табл. 3.37 [5].

Для определения скорости прессования используют также номограммы и графики, построенные на основе расчетов и откорректированных в процессе производства отливок.

Порция заливаемого сплава. Для обеспечения получения плотной отливки в камеру прессования необходимо заливать порцию сплава, превышающую его объем в полости формы, чтобы компенсировать потери сплава, часть которого успевает затвердеть на стенках камеры и

3.37. Скорость выпуска сплавов в м/с

Отливки	Алюминиевые в состоянии		Магниевые
	жидком	кашеобразном	
Толстостенные (6—10 мм):			
простые	0,5—1,0	2—3	—
сложные	0,5—1,0	3—6	—
Средней толщины (3—6 мм):			
простые	8—12	5—8	30—40
сложные	10—20	8—10	30—50
Тонкостенные (1,5—3 мм):			
простые	30—40	—	50—60
сложные	40—60	—	50—80
Тонкостенные с местными утолщениями:			
простые	15—20	10—15	40—60
сложные	30—50	—	60—80

торце прессующего поршня. Кроме того, следует предусматривать минимальный гарантийный остаток — прессостаток, величина которого при нормальных условиях литья и устойчивом режиме составляет для сплава в жидком состоянии 10—12% (от массы отливки с литниковой системой) и в кашеобразном состоянии — 16—18%.

Необходимую порцию сплава для получения отливки определяют по формуле

$$G = G_0 + C,$$

где G_0 — масса отливки с литниковой системой в кг;

C — масса прессостатка в кг.

Температура заливки сплава и нагрева формы. Для получения качественных отливок должен быть установлен такой тепловой режим формы, при котором за рабочий цикл приток теплоты равнялся бы расходу ее, а температура формы оставалась постоянной.

Температура заливки сплава должна быть минимальной, но достаточной для заполнения формы и получения чистых отливок без спаев и незаливок. Повышение температуры заливки вызывает быстрый износ формы, камеры прессования, поршня и ухудшает качество отливок из-за образования усадочных дефектов (рыхлоты, пор, трещин). Оптимальная температура заливки зависит от ряда факторов, главные из которых — конфигурация отливки и толщина ее стенок. Для каждой отливки температуру заливки устанавливают экспериментально. Толстостенные детали несложной конфигурации часто получают прессованием алюминиевого сплава в кашеобразном состоянии (температура заливки на 20—50°C выше температуры солидуса). При этом уменьшается возможность образования газовых и усадочных дефектов в отливках, но одновременно уменьшается и выход годного литья за счет увеличения прессостатка.

Стабильность теплового режима формы при заданном темпе работы обеспечивается подогревом (или охлаждением) формы. При разогреве

формы выше определенного оптимального значения увеличивается прилипаемость алюминиевых сплавов; уменьшаются прочностные свойства отливок; замедляется темп работы. При охлаждении формы ухудшается качество поверхности отливок и условия вентиляции формы.

Перед началом работы форму подогревают газовыми горелками или электрическими нагревателями. Не допускается разогрев формы запрессовкой жидкого сплава, так как это может привести к ее растрескиванию и быстрому выходу из строя. Рекомендуемые температуры нагрева формы в зависимости от толщины стенок отливок из алюминиевых и магниевых сплавов приведены в табл. 3.38.

3.38. Температура нагрева формы в °С

Сплавы	Толщина стенки отливки в мм			
	1—2	2—3	3—4	4—6
Алюминиевые	250—280	200—250	160—200	120—160
Магниевые	260—290	220—260	180—220	140—180

При одинаковых прочих условиях нагрев формы для литья магниевых сплавов должен быть выше, чем для алюминиевых, так как магниевые сплавы обладают худшими литейными свойствами. Температуру формы контролируют обычно с помощью контактной термопары, установленной вблизи полости формы напротив литника. Точность измерения при этом $\pm 15^\circ\text{C}$.

Смазка формы и камеры прессования. Назначение смазки — препятствовать привариванию сплава к рабочей поверхности формы, облегчать удаление отливок; уменьшать трение; предохранять поверхность формы от эрозионного воздействия потока расплавленного металла. Смазку наносят тонким слоем, равномерно по всей поверхности. При избытке смазки ухудшается качество поверхности участков отливки, расположенных внизу (из-за стекания смазки); кроме того, увеличивается газосодержание формы и, как следствие, пористость отливок. Дополнительное давление образующихся при сгорании смазки газов может способствовать образованию большого облоя, так как некоторое количество сплава вытесняется в зазор по плоскости разъема.

Больше всего нуждаются в смазке те участки формы, где возможен привар сплава (на отливках образуются задиры и риски), стержни и выступы в полости формы. Формы смазывают периодически в зависимости от сложности отливки. Детали камеры прессования следует смазывать после каждой второй или третьей заливки.

Смазка должна удовлетворять следующим требованиям: создавать на поверхности формы устойчивую пленку; обладать низкой газотворной способностью; не реагировать с жидким сплавом (во избежание коррозии отливок); быть дешевой и удобной для приготовления и использования.

В качестве смазки применяют натуральный воск и технический жир (удовлетворяют в основном всем требованиям, предъявляемым к смазке, но дефицитны и дороги); цилиндрическое масло «вапор» (удовлетворительные свойства, дешевое, но большая газотворная способность),

а также различные составы, содержащие, например: 1) 30% парафина, 30% стеарина, 30% церезина и 10% серебристого графита; 2) 30% парафина, 30% церезина, 14% вазелина, 26% графита. Составы даны в процентах по массе.

4. МАШИНЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Для литья под давлением алюминиевых и магниевых сплавов широко применяют машины с холодной горизонтальной и вертикальной камерами прессования (рис. 3.40 и 3.41). Машины с горизонтальной камерой прессования наиболее перспективны, что обусловлено следующими их преимуществами по сравнению с машинами с вертикальной камерой прессования:

1) более короткий путь сплава из камеры в полость формы и, следовательно, меньшие потери теплоты:

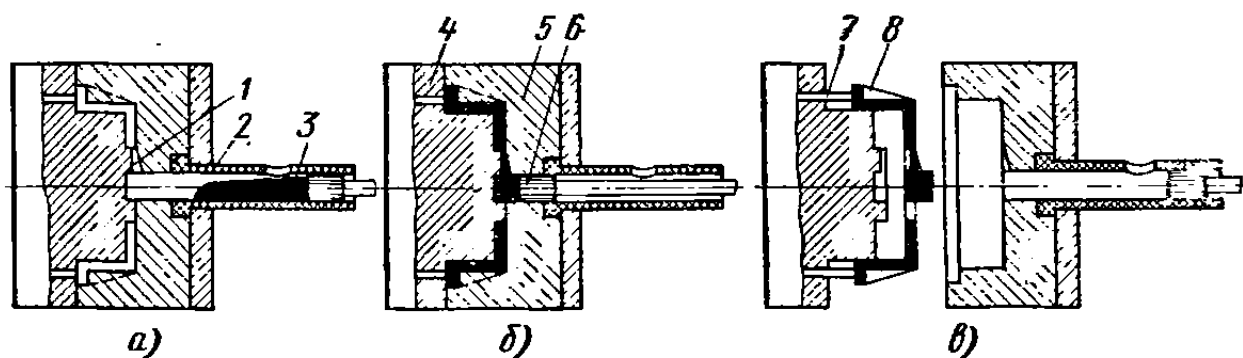


Рис. 3.40. Схема процесса литья под давлением на машине с горизонтальной камерой прессования:

а — заливка; б — прессование; в — раскрытие формы: 1 — питатель; 2 — камера прессования; 3 — порция сплава; 4 и 5 — подвижная и неподвижная половины формы; 6 — прессующий плунжер; 7 — толкатель; 8 — отливка

2) сокращение продолжительности рабочего цикла вследствие исключения операции отделения прессостатка (выбрасывается прессующим плунжером после открытия формы);

3) возможность применения более высоких давлений прессования, что улучшает качество отливок;

4) простота регулирования скорости прессования;

5) возможность работы на полуавтоматическом режиме.

Недостатком этих машин является следующее: наличие четырех тяг, ограничивающих размеры форм и затрудняющих доступ к ним; относительно небольшой ход подвижной плиты, что уменьшает возможность получения отливок с глубокими полостями; необходимость применения для центральных питателей специального устройства; большой нагрев и износ прессующего плунжера.

Одной из наиболее распространенных машин с горизонтальной камерой прессования является машина модели 515 (рис. 3.42).

Два гидравлических блока машины: левый — закрывающий форму и правый — прессующий и удаляющий прессостаток, а также насос 1 и аккумуляторы 3 смонтированы на сварной станине 23, внутри которой установлен бак 24 с рабочей жидкостью.

При запирации формы рабочая жидкость подается в цилиндр 4, поршень которого через систему рычагов 8 передает движение на плиту 10, перемещающуюся по четырем направляющим штангам 25. В мо-

мент закрытия формы система рычагов 8 занимает «мертвое» положение. Прессующий механизм, закрепленный на неподвижной плите 15, может перемещаться в вертикальном направлении винтовым домкратом 20.

Порцию сплава заливают в камеру прессования 12, установленную в неподвижной плите 11. При прессовании рабочая жидкость подается в цилиндр 17 и через поршень 18, шток 16 которого с помощью самоцентрирующейся муфты 27 соединен со стержнем 13, движение передается прессующему плунжеру 26. Стержень 13 имеет штуцер 14 для подачи и отвода воды, охлаждающей плунжер. Выталкивание отливки из формы производится плитой 9.

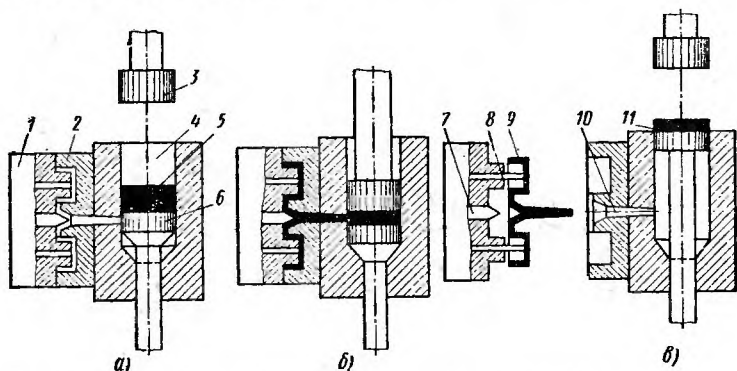


Рис. 3.41. Схема процесса литья под давлением на машинах с вертикальной камерой прессования:

а — заливка; б — прессование; в — раскрытие формы; 1 и 2 — подвижная и неподвижная половинки формы; 3 — прессующий поршень; 4 — камера прессования; 5 — порция сплава; 6 — нижний поршень; 7 — рассекаватель; 8 — толкатель; 9 — отливка; 10 — литниковый ход; 11 — прессостаток

Скорость движения прессующего плунжера двухступенчатая. Дроссель 19 в цилиндре 17 снижает давление на линии от аккумулятора 3 в начале прессования, и плунжер 26 движется медленно. Это способствует более полному удалению воздуха из полости формы. Затем (по мере заполнения формы) автоматически включается дополнительный приток рабочей жидкости в цилиндр 17, вследствие чего давление на поршень 18 увеличивается и скорость плунжера 26 возрастает. Такое распределение скоростей в процессе прессования способствует улучшению качества отливок.

Блок 1 состоит из двух сидящих на одном валу лопастных насосов производительностью 150 и 25 л/мин и давлением 17 и 65 ат соответственно, которые работают от электродвигателя 2 мощностью 14 кВт. Если давление в сети превышает 17 ат, то насос большей производительности разгружается. При давлении, не превышающем 17 ат, рабочая жидкость (масло), подаваемая обоими насосами, попадает в систему. Этого давления достаточно для перемещения подвижной плиты (в обе стороны) и для возврата прессующего поршня в исходное положение. Максимальное давление в системе 65 ат поддерживается работой насоса с меньшей производительностью (т. е. 25 л/мин).

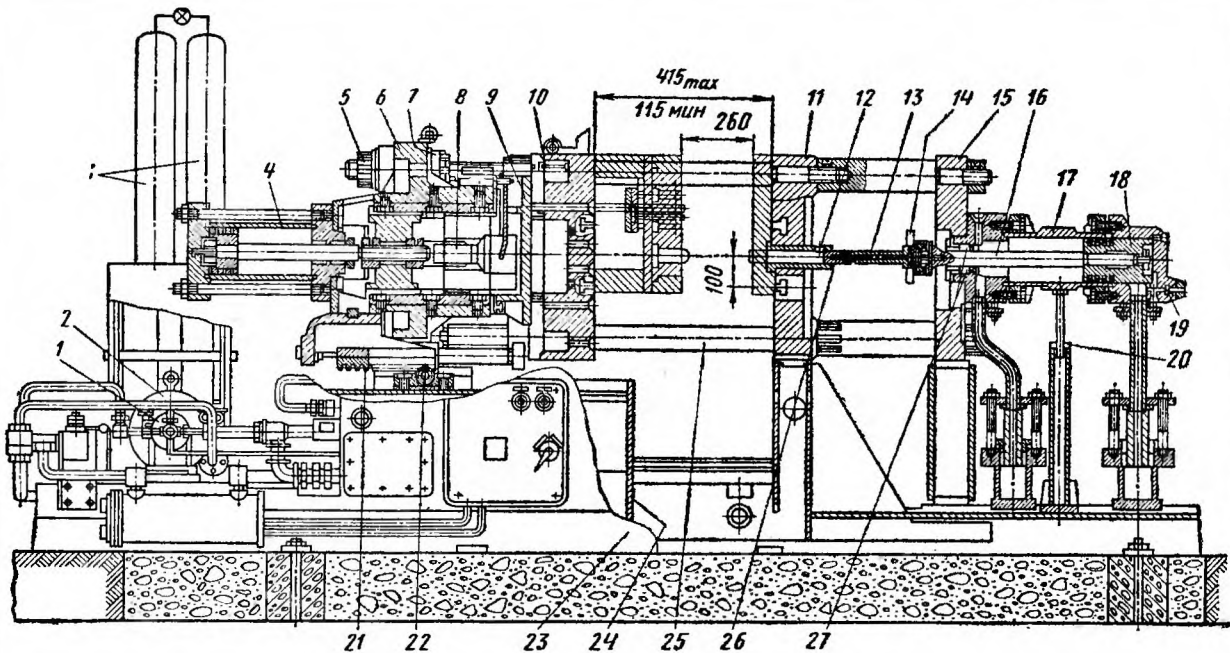


Рис. 3.42. Машина модели 515 с горизонтальной камерой прессования

Аккумулятор 3 представляет собой стальной баллон, на $\frac{1}{3}$ заполненный азотом. Остальной объем занят маслом, находящимся под давлением 65 ат. Масло из аккумулятора расходуется на перемещение поршня 18 цилиндра 17. При понижении давления в аккумуляторе оба насоса подают масло на зарядку аккумулятора, которая длится всего 1,5 с.

Установку формы на машине производят с помощью электротельфера или кран-балки. Форму сажают отверстием в правой плите на выступающий буртик камеры прессования 12, затем выравнивают относительно неподвижной плиты 11 и прижимают вручную подвижной плитой 10 с помощью рейки 21 и валика 22. Половины форм крепят к плитам машины специальными прихватами. После закрепления формы ее следует несколько раз открыть и закрыть, перемещая плиту 10 с минимальной скоростью. При этом проверяют плотность прилегания плоскостей разъема. Если плотность прилегания недостаточна, то

3.39. Технические характеристики отечественных машин

Параметры	Моде			
	5A11	5A12	5A13	515M
Наибольшая порция алюминиевого сплава в кг	0,2	0,4	0,8	1,6
Усилие в тс:				
запирания формы	40	63	100	150
прессования	4	6,3	10	13,8
Ход подвижной плиты в мм	180	240	320	260
Просвет между колон- нами в мм:				
по вертикали	250	320	400	454
» горизонтали	200	250	320	380
Давление в аккумуля- торах в кгс/см ²	50	80	85	65
Диаметры камеры прессования в мм	20—35	23—45	30—55	40—65
Наибольшее давление прессования в кгс/см ²	1270	1500	1420	1100
Число холостых цик- лов в час	400	500	400	150
Габаритные размеры в м: длина X ширина X X высота	2,5X X1,0X X1,5	3,0X X0,8X X1,9	3,6X X1,0X X1,6	4,4X X1,7X X1,8

Примечание. Машины 5A11, 5A12, 5A13, 5A14; МГ200; МГ200-11 515M, 51Б5 — Павлоградский завод литейного машиностроения «Литмаш»; шин «Сиблитмаш».

гайками 5 и 7, фиксирующими плиту 6 в осевом направлении, подгоняют обе половины формы, обеспечивая их параллельность и соосность.

Рабочий цикл машины длится от 20 до 150 с (в зависимости от массы и размера отливки) и включает следующие операции: закрытие формы 3 с; заливка сплава 5—10 с; прессование 2 с; выдержка для охлаждения отливки 3—120 с; раскрытие формы и выталкивание отливки 2 с; возврат плунжера в исходное положение 2 с; подготовка формы 3—10 с.

Технические характеристики отечественных и зарубежных машин с холодной горизонтальной камерой прессования приведены в табл. 3.39 и 3.40.

Кроме машин с горизонтальной камерой прессования в литейных цехах используют машины с вертикальной камерой прессования. Эти машины имеют следующие преимущества: возможность изготовления отливок

с холодной горизонтальной камерой прессования

ли машин

51Б5	5А14	$\frac{\text{МГ200}}{\text{МГ200-11}}$	ЛН304	516М	517М	ЛН301
1,6	2,0	3,15	3,5	5,8	9,0	45
160	160	$\frac{200}{250}$	250	350	630	2250
16	16	$\frac{12,1}{19,8}$	20; 10	27; 13,5	45; 20	170; 80
300	400	450	350	420	630	1000— 1500
$\frac{500}{425}$	$\frac{500}{500}$	$\frac{495}{445}$	$\frac{450}{550}$	$\frac{615}{515}$	$\frac{630}{300}$	$\frac{1300}{1200}$
80	95	120	50	50	125	150
40—70	40—75	40—85	40—80	50—100	55—110	105—180
1250	1400	1580	1600	1380	1900	1960
300	200	200	260	160	125	40
$\frac{4,1 \times}{\times 1,1 \times}$ $\times 1,7$	$\frac{4,3 \times}{\times 1,1 \times}$ $\times 1,9$	$\frac{2,4 \times}{\times 1,0 \times}$ $\times 1,3$	$\frac{4,9 \times}{\times 1,9 \times}$ $\times 1,7$	$\frac{5,5 \times}{\times 1,9 \times}$ $\times 4,1$	$\frac{6,1 \times}{\times 1,3 \times}$ $\times 2,0$	$\frac{13,1 \times}{\times 3,3 \times}$ $\times 4$

изготавливает Тираспольский завод литейных машин им. С. М. Кирова; машины ЛН304, 516М, 517М, ЛН301 — Новосибирский завод литейных ма-

3.40. Технические характеристики некоторых зарубежных машин с холодной горизонтальной камерой прессования

Параметры	ЧССР			Италия						ФРГ		
	CLO 1000/85	CLO 1800/100	CLO 2500/180	Фирма «Триульци»			Фирма «ИДРА»			Фирма «Вотан»		
				1000	1500	2200	OL-2000S	OL-2500S	OL-3500S	1600	2000	2500
Наибольшая порция алюминиевого сплава в кг	20	30	50	18	25	65	30	38	52	40	40	76
Усилие в тс:												
запирания формы	1000	1800	2500	1000	1500	2200	2000	2500	3500	1600	2000	2500
прессования	21; 31; 85	34; 100	180	26,6; 90	52; 114	89; 225	152	152	185	58; 160	63; 160	80; 200
Ход подвижной плиты в мм	800	1200	1500	700	1500	1500	1100	1150	1700	1000	1000	1200
Размеры просвета между колоннами в мм	—	—	—	—	—	—	1995× ×1995	2080× ×2140	2700× ×2800	1200× ×1200	1200× ×1200	1400× ×1400
Давление в аккумуляторах в кгс/см ²	120	120	120	150	150	150	—	—	—	140	140	140
Габаритные размеры в м: длина×ширина×высота	9,0× ×2,5 ×4,0	10,3× ×2,2× ×3,4	13× ×2,8 ×4,5	9,0× ×2,5× ×4,0	12,5× ×2,8 ×4,3	16,5× ×3,8× ×5,3	—	—	—	12× ×3,5× ×3,7	12× ×3,5 ×3,7	—

с центральными питателями; расположение тяг по диагонали облегчает доступ к форме и получение сложных отливок больших размеров с установкой стержней во всех направлениях (табл. 3.41).

3.41. Технические характеристики некоторых машин с вертикальной камерой прессования

Параметры	ВНИИЛИТМАШ, СССР		
	511	512	
Наибольшая порция алюминиевого сплава в кг	0,8	1,8	
Усилие в тс:			
запирания формы	55	120	
прессования	до 16	6—28,5	
Наибольшее расстояние между неподвижной и подвижной плитами машин в мм	600	1000	
Наибольший ход подвижного стола в мм	315	450	
Диаметры стаканов камеры прессования в мм	40; 60	60; 80; 100	
Число холостых циклов в час	150	130	
Габаритные размеры в м: длина × ширина × высота	2,1 × 0,9 × 2,4	2,6 × 1,5 × 2,2	
Параметры	«Полак», ЧССР		
	600	900	2255
Наибольшая порция алюминиевого сплава в кг	0,8	1,8	8,0
Усилие в тс:			
запирания формы	70	до 120	до 220
прессования	до 16	5,5—30	9,5—55
Наибольшее расстояние между неподвижной и подвижной плитами машин в мм	650	1000	1200
Наибольший ход подвижного стола в мм	310	450	470
Диаметры стаканов камеры прессования в мм	40; 60	60; 80; 100	120; 140;
Число холостых циклов в час	150	120	160
Габаритные размеры в м: длина × ширина × высота	2,3 × × 0,9 × × 2,5	2,6 × × 1,7 × × 2,2	4,2 × × 1,9 × × 2,7

5. ДЕФЕКТЫ ОТЛИВОК, ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ И МЕРЫ УСТРАНЕНИЯ

В отливках, полученных литьем под давлением, возможно образование тех же дефектов, что и при других видах литья. Однако причины образования некоторых дефектов связаны со спецификой литья, поэтому требуются специальные меры по их устранению (табл. 3.42).

3.42. Классификация дефектов отливок, полученных литьем под давлением, причины их образования и меры устранения

Дефект	Причины образования	Методы устранения или предупреждения
Усадочные дефекты		
Раковины и пористость	<ol style="list-style-type: none"> 1. Несоответствие конструкции отливки требованиям процесса (большие местные утолщения). 2. Недостаточное питание утолщенных мест. 3. Высокая температура заливки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обеспечить равенство отливки; разредить утолщения установкой стержней, арматуры. 2. Подвести к месту дефекта утолщенный питатель. 3. Снизить температуру заливки
Трещины	<ol style="list-style-type: none"> 1. Резкие переходы от тонких сечений к толстым. 2. Низкая температура формы и стержней. 3. Повышенное содержание вредных примесей в сплаве 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обеспечить плавные переходы сопрягаемых сечений отливки по толщине. 2. Подогреть форму или увеличить темп работы. 3. Контролировать содержание примесей в сплаве
Газовые дефекты		
Равнины и пористость	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая скорость прессования. 2. Недостаточная вентиляция формы. 3. Неправильный подвод сплава в форму 4. Избыток смазки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Уменьшить скорость прессования или увеличить выпускное сечение питателя. 2. Увеличить сечение вентиляционных каналов, сделать промывники. 3. Изменить место подвода сплава так, чтобы воздух постепенно вытеснялся из полости формы и чтобы вентиляционные каналы не перекрывались первой порцией сплава, поступившего в форму. 4. Наносить минимально необходимый слой смазки
Поверхностные дефекты		
Неслитины, нечеткое выполнение контуров отливки (граней, острых углов)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточное давление прессования. 2. Малая скорость впуска. 3. Низкая температура формы или сплава. 4. Неправильный подвод сплава. 5. Недостаточная вентиляция формы 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повысить давление прессования. 2. Увеличить скорость прессования или уменьшить выпускное сечение питателя. 3. Повысить температуру формы и сплава или увеличить темп работы. 4. Подвести питатель так, чтобы не было разделения потока сплава на отдельные струи. 5. Увеличить сечение вентиляционных каналов

Продолжение табл. 3.42

Дефект	Причины образования	Методы устранения или предупреждения
Задиры на поверхности отливок	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточные литейные уклоны отдельных элементов отливки. 2. Забоины на поверхности формы и стержней. 3. Прилипание сплава к форме 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Исправить конусность формы и стержней. 2. Устранить забоины и поднутрины в форме и на стержнях. 3. Снизить температуру формы и заливки сплава; повысить содержание железа в алюминиевых сплавах (в пределах допустимого по химическому составу), увеличить слой смазки в местах приваривания
Узорчатая поверхность отливки «мороз»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая температура формы и заливки сплава. 2. Малое выпускное сечение питателя 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повысить температуру заливки сплава; подогреть форму. 2. Увеличить выпускное сечение питателя
Пятнистая поверхность отливки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Избыток смазки; повышенное содержание графита в смазке 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сменить смазку или уменьшить ее слой; обдувать форму после смазки сжатым воздухом
Выступы и углубления на поверхности отливок	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неправильно отрегулированы выталкиватели. 2. Трещины разгара на поверхности формы 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отрегулировать положение выталкивателей или заменить их. 2. Исправить поверхность формы; не допускать разогрев формы запрессовкой горячего сплава
Размерные дефекты		
Несоответствие геометрии отливки требованиям чертежа	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неправильное определение усадки. 2. Неточная установка стержней. 3. Коробление отливки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Исправить размеры формы в соответствии с действительной величиной усадки сплава. 2. Исправить конструкцию крепления стержней; заменить изношенные стержни. 3. Увеличить жесткость отливки введением дополнительных ребер жесткости; устранить перекосы при выталкивании отливки; увеличить продолжительность охлаждения отливки в форме. 4. Не допускать перегрева формы выше заданной температуры; предусмотреть охлаждение формы

Продолжение табл. 3.42

Дефект	Причины образования	Методы устранения или предупреждения
Увеличение размеров отливки, расположенных перпендикулярно плоскости разъема	1. Отход подвижной половины формы при гидравлическом ударе. 2. Неплотное сопряжение половин формы	1. Проверить достаточность запирающего усилия машины; уменьшить давление прессования. 2. Проверить регулирование шарнирно-рычажного механизма запирания формы; проверить зазор щупом (зазор не должен превышать 0,05 мм)

6. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Процесс литья под давлением развивается по двум основным направлениям: 1) механизации и автоматизации основных и вспомогательных операций с целью устранения ручного труда и повышения производительности; 2) повышения качества отливок вакуумированием форм и подпрессовкой сплава в форме.

Механизация отдельных операций технологического процесса. Для подачи определенной порции сплава при заданной температуре непосредственно в камеру прессования применяют специальные устройства — дозаторы, которые обеспечивают стабильность двух технологических операций, выполнявшихся вручную: дозирования сплава и его заливки. Технические характеристики дозаторов для алюминиевых сплавов, выпускаемых Тираспольским заводом им. С. М. Кирова, приведены в табл. 3.43.

3.43. Технические характеристики дозаторов

Параметры	Модель дозатора			
	Д-63	Д-160	Д-250	Д-630
Порция алюминиевого сплава в кг	0,2—2	1—10	0,5—10	5—50
Продолжительность выдачи дозы в с:				
максимальной	3—4	3—5	3—5	12—20
минимальной	3	3	3	5
Точность дозирования в %	3	3	3	5
Установленная мощность обогрева в кВт	12	19	22	28
Максимальное давление в печи в ат	0,35	0,2	0,35	0,2
Габаритные размеры в м: длина × ширина × высота	2×1,5× ×1,3	1,9× ×1,0× ×2,2	2,7× ×1,43× ×1,75	2,3×2× ×2,1

Разрабатывают устройства для автоматической смазки и очистки форм, заменяющие ручные операции смазки, обдувки и очистки поверхностей разъема и полости формы.

В некоторых машинах с горизонтальной камерой прессования (МГ200; 516М; 517М) имеется приспособление для отрезки и удаления прессостатка, что позволяет получать на них отливки с центральным литником.

Одновременно с формой проектируют обрезные штампы различной конструкции для обрезки питателей и облоя, или предусматривают обрезку питателя в самой форме при выталкивании отливки.

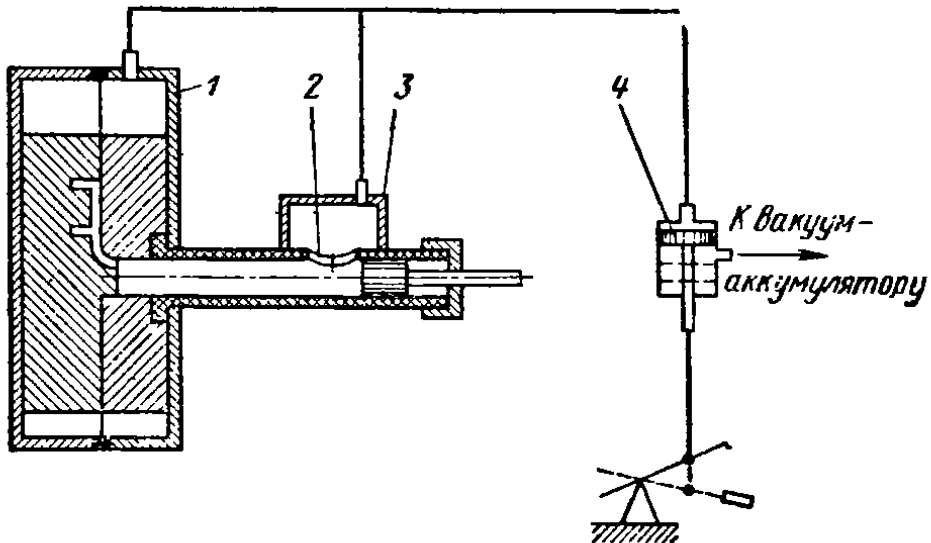


Рис. 3.43. Схема вакуумирования формы

Вакумирование форм. Несмотря на применение вентиляционной системы при литье под давлением не удастся полностью удалить воздух из полости формы из-за высоких скоростей впуска сплава и захвата (захлестывания) воздуха в результате завихрений потока-сплава или отдельных его струй при встрече с препятствиями. Образующаяся в отливках пористость снижает их конструктивную прочность и не позволяет применять упрочняющую высокотемпературную термическую обработку, например закалку с последующим упрочняющим старением, так как при нагреве в отливках образуются вздутия. Вакумирование позволяет почти полностью удалить воздух из формы и в сочетании с подпрессовкой получать плотные отливки из термически упрочняемых алюминиевых и магниевых сплавов.

При вакуумировании необходимое разрежение и устранение подсоса воздуха обеспечиваются надежной герметизацией формы (помещением ее в специальный кожух или установкой уплотнений во всех сопрягаемых частях). В машинах с горизонтальной камерой прессования перед вакуумированием перекрывают заливочное отверстие.

Вакуумное оборудование включает форвакуумный насос (ВН-1, ВН-4, ВН-4Г), вакуумный аккумулятор и вакуум-провод. Схема вакуумирования показана на рис. 3.43. После заливки сплава в камеру прессования отверстие 2 перекрывается крышкой 3, имеющей уплотнение из вакуумной резины. Открывается клапан 4, соединяющий кожух формы 1 и камеру прессования с вакуумным аккумулятором, и

по достижении необходимого разрежения реле автоматически включает механизм прессования.

Основные технологические параметры вакуумирования должны быть следующими; 1) величина разрежения не меньше 60 мм рт. ст.; 2) продолжительность создания этого разрежения не более 1,5 с.

Для литья под давлением на базе машины 51Б5 создана машина 51Б5В с вакуумированием полости формы и автоматическим дозированием сплава.

При литье под давлением с использованием вакуума улучшается качество поверхности отливок; увеличиваются их плотность, прочность

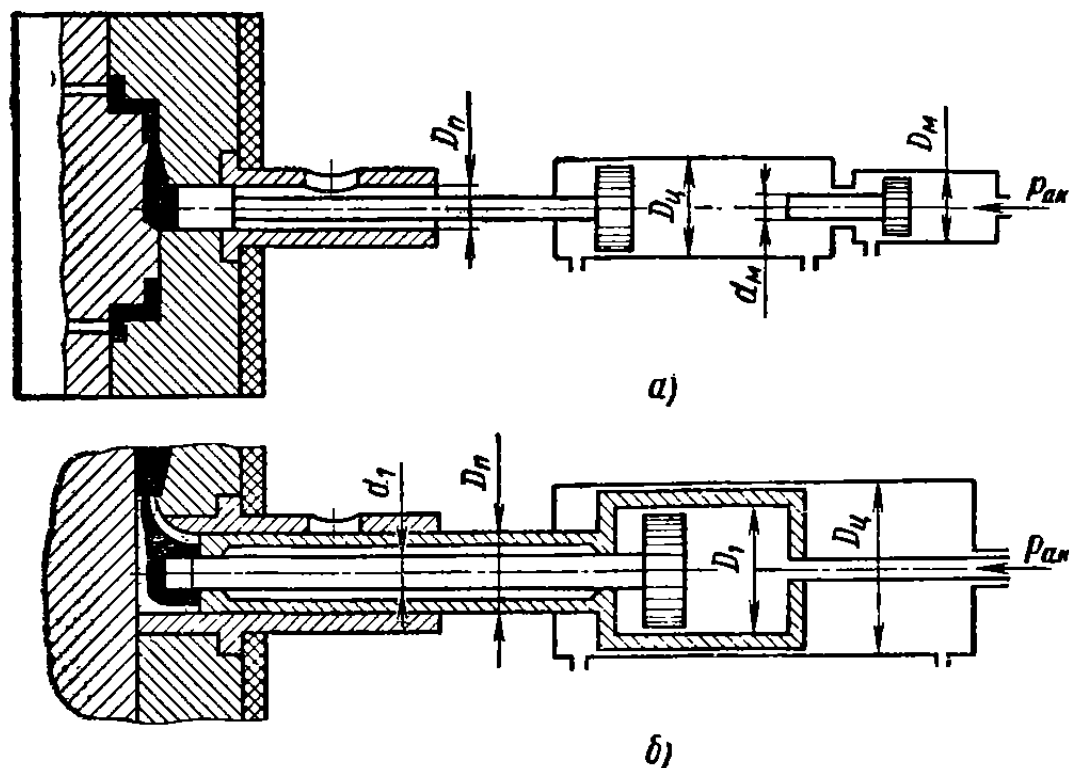


Рис. 3.44. Схемы подпрессовки:

а — с применением мультипликатора; б — с двойным прессующим плунжером (акьюред-процесс)

и герметичность; повышается выход годного литья за счет снижения брака по газовым дефектам и неслитинам. Эти преимущества компенсируют основной недостаток процесса — усложнение форм, а также трудности, связанные с их герметизацией (особенно при наличии стержней).

Наиболее перспективный способ получения высокопрочных, качественных отливок при литье под давлением — это сочетание вакуумирования формы и подпрессовки сплава.

Подпрессовка сплава в форме. Подпрессовкой называют передачу статического давления на сплав в течение отрезка времени: от момента окончания заполнения формы до полного затвердевания отливки. Основной целью подпрессовки является сжатие газовых включений с целью ликвидации пористости по всему сечению отливки. Наибольший эффект подпрессовки достигается при определенных тепловых режимах формирования отливки, обеспечивающих сохранение достаточной жидкотекучести сплава в литниковой системе и форме в период действия статического давления. Для получения

сложных тонкостенных отливок используют щелевидные питатели и высокие скорости впуска потока сплава, кинетическая энергия которого способствует четкому оформлению поверхности. Тепловой режим в этом случае должен способствовать сохранению жидкотекучести сплава в тонких сечениях отливки и питателя, а давление подпрессовки — максимальное сжатие газовых включений, образующихся в результате высокой дисперсности потока сплава.

Для получения толстостенных отливок применяют небольшие скорости впуска и широкие питатели. Подпрессовка в этом случае способствует ликвидации усадочной рыхлоты и пористости, а также сжатию газовых пор, образующихся вследствие выделения газа из сплава [6].

Схемы подпрессовки показаны на рис. 3.44. Увеличение давления в процессе подпрессовки происходит за счет мультипликатора (рис. 3.44, а) или вследствие увеличения отношения $\frac{D_1}{d_1}$ по сравнению с $\frac{D_{ц}}{D_{п}}$ (рис. 3.44, б). Давление подпрессовки в этих случаях определяют по следующим формулам:

$$p_{\text{под}} = p_{\text{ак}} \left(\frac{D_{ц}}{D_{п}} \right)^2 \left(\frac{D_{м}}{d_{м}} \right)^2,$$

$$p_{\text{под}} = p_{\text{ак}} \left(\frac{D_1}{d_1} \right)^2,$$

где $p_{\text{ак}}$ — давление рабочей жидкости в аккумуляторе.

Метод подпрессовки с применением мультипликатора давления более перспективен, чем акьюред-процесс, который требует соблюдения определенных условий: 1) толщина питателя должна быть больше толщины стенки отливки; 2) форма должна заполняться сплошным потоком при низкой скорости впуска (не более 0,5 м/с); 3) подпрессовку можно осуществлять только после образования слоя затвердевшего сплава в камере прессования. Эти условия ограничивают область применения процесса, эффективного только при производстве толстостенных отливок (≥ 5 мм) сравнительно несложной конфигурации.

Величина давления подпрессовки ограничивается запирающим усилием машины Q , так как по условию надежного запираения $kQ = p_{\text{под}} F$. Поэтому одним из основных путей получения высокопрочных, плотных отливок является создание машин с большими запирающими усилиями. Это позволит увеличить давления прессования и подпрессовки, широко использовать для литья под давлением не только эвтектические алюминиевые сплавы (АЛ2, АЛ9, АЛ4), но и сплавы с широким интервалом кристаллизации (на основе систем Al—Cu, Al—Mg), в особенности магниевые сплавы.

Глава IV

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

1. ЛИТЬЕ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Наряду с отливками, имеющими точные размеры, минимальные припуски на механическую обработку и высокую чистоту поверхности, все чаще требуются отливки с толщиной стенок до 1—1,5 мм и сложной конфигурации. Чтобы заполнить полость литейной формы для такой детали, необходимо создать в жидком сплаве избыточное давление, способное преодолеть сопротивления, основными из которых являются следующие:

а) сопротивление вытесняемого из форм воздуха, а также выделяемых стержнями и формой газов;

б) сопротивление сил трения сплава о стенки формы и сил внутреннего трения частиц сплава в потоке;

в) сопротивление окисной пленки, покрывающей расплав.

Сумма этих сопротивлений может оказаться настолько большой, что полость формы не заполнится сплавом. Дефекты типа незалив, неспай особенно трудно преодолимы в тонкостенных отливках. Наряду с вышеуказанными факторами очень сильно влияет быстрое падение температуры движущегося сплава, вследствие чего так же быстро уменьшается его жидкотекучесть. Наиболее распространенными методами борьбы с «незалывами» и «неспаями» тонких стенок являются следующие:

1) повышение напора сплава в литниковой системе формы;

2) увеличение жидкотекучести сплава за счет повышения его температуры;

3) снижение скорости охлаждения сплава в форме за счет ее нагрева.

Однако эти методы оказываются недостаточными, а часто и вредными для получения качественных деталей при литье в разовые формы (гипсовые, песчаные и т. д.).

Обычно жидкий сплав не должен смачивать поверхности литейной формы, поэтому при литье в металлические формы их внутреннюю поверхность защищают специальной краской, а алюминиевые кокили подвергают твердому или глубокому анодированию.

Неметаллическая форма не нуждается в защите, так как ни песчаная, ни этилсиликатная или гипсовая формы не смачиваются ни расплавленным алюминием, ни его сплавами.

При точном литье сложных фасонных отливок с тонкими каналами, ребрами, лопатками это в общем положительное явление несмачивания металлом формы сужает возможности литья в неметаллические формы, так как капиллярные ограничения препятствуют заполнению тонких сечений. В этом случае поверхностное натяжение жидкого металла создает в капилляре противодействие, величину которого можно подсчитать по формуле Лапласа для изогнутой поверхности жидкости:

$$p = 2\sigma/R,$$

где σ — поверхностное натяжение расплава;

R — радиус кривизны поверхности на входе в капилляр.

Ниже дан пример расчета противодействия p для случая заполнения лопатки рабочего колеса турбины с толщиной кромки 0,1 мм. Примем $R = 0,5x$, где x равно ширине щели.

Для алюминия с $\sigma = 800 \cdot 10^{-6}$ кгс/см при $R = 0,5/x = 0,005$ см имеем

$$\rho = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2 \cdot 800 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-3}} = 0,32 \text{ кгс/см}^2.$$

Отсюда необходимая высота столба жидкого металла будет

$$H = \frac{\rho}{\gamma} = \frac{0,32}{2,7 \cdot 10^{-3}} = 1,2 \text{ м,}$$

где γ — удельный вес в гс/см³.

Это означает, что лопатки с острой выходной кромкой смогут быть оформлены только при гидростатическом давлении жидкого металла более 1,2 м. Один из прогрессивных технологических процессов — литье под низким давлением позволяет получать качественные отливки сложной конфигурации с тонкими стенками. Кристаллизация под давлением в любом случае является эффективным средством для устранения пороков литых сплавов; кроме того, при кристаллизации под низким давлением увеличивается скорость охлаждения, что, в свою очередь, сказывается на измельчении структуры отливок, уменьшении пористости и химической неоднородности.

Величина избыточного давления при этом способе литья обычно колеблется в пределах 0,18—0,8 кгс/см² и зависит от высоты отливки. Преимуществом литья под низким давлением является возможность автоматизации процесса заполнения формы металлом. При литье под низким давлением можно отказаться от крупных прибылей, достигающих при литье в кокиль 150—200% от массы отливок, и повысить выход годного до 80%.

Схема установки для литья под низким давлением приведена на рис. 3.45. Металлическую или полуметаллическую форму 1 устанавливают на крышку 2 герметичного тигля 3, находящегося в футерованном кожухе 4 с электронагревателями 5. В плите кокиля закреплен металлопровод 7, немного не достигающий до дна тигля. Герметичность плиты и крышки 2 обеспечивается прокладкой 6.

Сплав можно заливать в тигель через металлопровод с помощью воронки. В тигель, заполненный сплавом, по трубке 8 подается сжатый воздух или инертный газ, который, оказывая давление на зеркало сплава, вытесняет его по металлопроводу вверх в литниковый коллектор, а затем в полость формы. Воздух из формы удаляется через вентиляционные каналы 9. Скорость подачи газа, а следовательно, и скорость

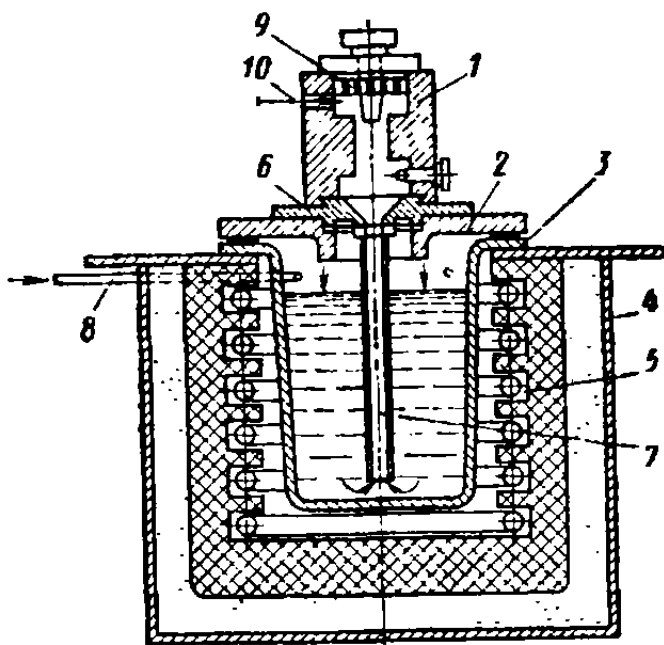


Рис. 3.45. Схема установки для литья под низким давлением

вытесняемого сплава можно регулировать в широких пределах специальным устройством, состоящим из стабилизатора давления и дроссельного клапана. Обычно рабочее давление в 2—3 раза превышает давление, необходимое для заполнения формы сплавом.

После заполнения формы давление на зеркало сплава в тигле продолжает нарастать. Под действием увеличивающегося избыточного давления (до 0,6—0,7 ат) происходит кристаллизация сплава в форме. В металлопроводе и в коллекторе сплав сохраняет подвижность более длительное время, чем в полости формы, поэтому литниковый коллектор работает как прибыль, надежно питая массивные сечения отливки, расположенные в нижней части формы. После затвердевания отливки срабатывает реле времени технологической выдержки, давление в тигле сбрасывается, остаток сплава в металлопроводе сливается в тигель и кокиль можно раскрывать.

В случае применения песчаных форм или металлических форм с песчаными стержнями сплав в конце заполнения формы замыкает электрический контакт 10, который включает второе реле времени, настроенное на интервал, необходимый для образования на поверхности отливки достаточно прочной литейной корки. После этого реле, срабатывая, включает клапан подачи в тигель газа для создания избыточного давления, уплотняющего отливку. Этим приемом предупреждается проникновение жидкого сплава в поры между песчинками.

В качестве материала для металлических форм используют серый чугун.

Для алюминиевых сплавов тигель желательнее изготовлять из графита или другого огнеупорного материала. Применяют также двойные тигли; наружный — из серого чугуна и внутренний — из графита. При этом на графитовый тигель давление подается снаружи и изнутри, благодаря чему он находится в ненагруженном состоянии.

При проектировании формы следует располагать отливку так, чтобы обеспечить направленное затвердевание снизу вверх, для чего в некоторые, наиболее толстые места формы устанавливают медные вставки. Высота формы должна быть минимальной.

Таким образом, основные преимущества литья под низким давлением заключаются в следующем.

1. Подвод сплава в наиболее металлоемкие участки полости формы способствует уменьшению объема литниковой системы, а следовательно, и количества отходов.

2. Кристаллизация сплава в форме под избыточным давлением способствует повышению плотности структуры, четкости контуров и чистоты поверхности отливок.

3. Сокращение продолжительности заполнения формы сплавом позволяет получать тонкостенные отливки с развитой поверхностью.

4. Бесшовное заполнение формы сплавом из глубинных слоев тигля уменьшает опасность попадания в отливку неметаллических включений.

5. Применение инертного газа в качестве движущей среды снижает окисляемость сплавов, особенно магниевых.

6. Автоматическое управление подачей сплава в форму допускает регулировку скорости заполнения.

7. Возможность использования металлических, песчаных, оболочковых и комбинированных форм расширяет область практического применения метода.

Преимущества литья под низким давлением подтверждаются данными табл. 3.44, в которой сравниваются два способа получения отливок (под атмосферным и низким давлением) двух деталей (картера и корпуса лодочного мотора).

3.44. Сравнительные показатели получения отливок в песчаных формах и литьем под низким давлением (по данным Е. Н. Соловьева, В. Н. Виноградова, А. С. Мусияченко и др.)

Показатели	Картер		Корпус лодочного мотора	
	В песчаных формах	Под низким давлением	В песчаных формах	Под низким давлением
Масса в кг:				
отливки с элементами литниково-питающей системы (в расчете на одну деталь)	350,0	170,0	15,2	10,0
отливки без литниковой системы	118,0	105,0	5,3	3,8
механически обработанной детали	100,0	100,0	4,6	3,3
формовочной смеси на одну отливку	2500,0	300,0	10,5 (стержень)	5,5 (стержень)
Толщина стенок отливки в мм	10,0	10,0	5,0	3,0
Точность размеров по АН 1026—60	Лт7	Лт5	Лт7	Лт5
Трудоемкость изготовления одной отливки в нормо-часах	47,0	30,0	7,76	2,5

При литье под низким давлением возможно образование следующих дефектов: газовой и усадочной пористости, усадочных раковин, утяжин, пригара, вскипов, шлаковых включений. Борьба с указанными дефектами производится общепринятыми в литейном производстве методами. Для предупреждения газовых и усадочных дефектов применяют качественное рафинирование металла, рациональное снижение температур расплава и кокиля, достаточное питание дефектных зон путем утолщения и доводки размеров элементов литниково-питающих систем.

Для этой же цели, а также для предотвращения недоливов и неспаев используют возможность широкого регулирования скорости заполнения.

Наиболее характерным браком литья под низким давлением является механический пригар.

Механический пригар — это грубошероховатое наслоение, состоящее из механической смеси частиц песка и сплава; наблюдается на поверхностях отливок, образуемых песчаным стержнем или формой. При определенных условиях формовочные материалы, не смачиваемые самим сплавом, смачиваются его окислами. Смачивание приводит к тому, что сплав проникает в поры формовочной смеси и затвердевает там, образуя корку, состоящую из очень твердой смеси песка и металла. Удаление такой корки — очень трудоемкая операция, иногда проще отлить деталь заново, чем удалять с ее поверхности слой пригара.

Основной причиной пригара является избыточное давление в сплаве после заполнения им полости формы. Под действием статического дав-

ления, направленного перпендикулярно стенкам формы, сплав проникает в поверхностный слой стержня или формы и затвердевает там. Нижняя зона формы и ее более металлоемкие участки нагреваются быстро, в результате чего процесс образования корки замедляется. При этом давление в сплаве, заполняющем массивные и низко расположенные полости, возрастает более интенсивно, чем в узких полостях формы, удаленных от места подвода сплава. Механический пригар встречается преимущественно в нижних зонах на участках поверхности, образующих утолщенные сечения отливки. Чем слабее и неравномернее плотность набивки песчаного стержня, тем вероятнее, при прочих равных условиях, образование механического пригара. Повышение давления в сплаве находится в прямой зависимости от скорости торможения сплава в конце заполнения им формы. Чем резче торможение, тем в более короткий период нарастает давление и тем вероятнее образование пригара.

Предупредить образование механического пригара можно подбором оптимальной скорости заполнения формы, плавного торможения сплава и нанесения на поверхность песчаного стержня или формы слоя противопригарного покрытия.

Рекомендуемый состав противопригарной стержневой смеси: 55% люберецкого песка, 13,5% тамбовского песка, 27% молотого пылевидного кварца, 0,8% пектинового клея, 3,2% связующего «М», 0,5% керосина. Такие стержни выдерживают избыточное давление до 0,6—0,7 ат без образования пригара.

Одним из способов устранения пригара является регулирование давления при заполнении формы. На первом этапе процесса заливки создается давление, которое не превышает давления, необходимого для заполнения полости формы жидким сплавом. Опыт показал, что при литье алюминиевых сплавов давление на этом этапе не должно превышать $0,2 \text{ кгс/см}^2$. По окончании заливки форм сплав выдерживают для образования на поверхности стержня твердой корки. После этого давление в установке может быть резко увеличено до значения, при котором происходит затвердевание отливки по всему сечению. Такой ступенчатый режим изменения давления в процессе литья позволяет получать отливки без пригара при использовании песчаных стержней даже без предварительной окраски.

Качество отливок, получаемых литьем под низким давлением, во многом зависит от скорости нарастания давления в замкнутом объеме установки, от температуры заливаемого сплава, температуры кокиля и условий кристаллизации отливки, от качества приготовления сплава и его состава; от конструктивно-технологических особенностей установки, металлопровода и литейной формы.

На скорость заполнения полости формы сплавом, а следовательно, на характер заполнения при прочих равных условиях влияет прежде всего скорость нарастания давления в замкнутом объеме установки.

Одного и того же давления, при котором произойдет затвердевание отливки, можно достичь за разные промежутки времени. В зависимости от скорости нарастания давления изменяется скорость течения сплава в форме. В случае медленного заполнения формы сплав может закристаллизоваться в тонких сечениях отливки прежде, чем заполнится форма (брак по незаливу, спаям, неслитинам). При слишком быстром течении процесса произойдет бурное, струйное заполнение формы с разбрызгиванием и захватом воздуха (брак по струйным неслитинам, газовым раковинам, макро- и микропористости).

Такие явления нежелательны и обуславливают необходимость исследования зависимости характера и скорости нарастания давления от изменения конструктивно-технологических параметров установки литья под низким давлением.

В работе [3] подробно описаны исследования скорости охлаждения, структуры, физико-механических свойств алюминиевых сплавов, кристаллизующихся под низким давлением.

Расчет скорости охлаждения сплава АЛ2 в интервале кристаллизации показал, что охлаждение при кристаллизации под низким давлением составляет $20\text{--}26^\circ$ в секунду, что в 4—5 раз превышает скорость охлаждения в кокиле под действием сил гравитации.

Это хорошо согласуется с данными различных исследований, по которым природу повышения скорости кристаллизации под действием давления на сплав можно объяснить рядом факторов, важнейшими из которых считают: 1) уменьшение воздушного зазора между стенкой формы и кристаллизующейся отливкой, что способствует лучшей теплопередаче от сплава к материалу формы; 2) значительное увеличение скорости заполнения металлической формы; 3) поломку растущих дендритов, обломки которых, занесенные в полость отливки, служат дополнительными центрами кристаллизации; 4) принудительное вдавливание жидкой фазы в каркас растущих дендритов, несколько снижающее пористость.

Исследование микроструктуры алюминиевых сплавов показало, что зерна отливок, кристаллизовавшихся под низким давлением, более измельчены по сравнению с зернами отливок, кристаллизовавшихся под действием сил гравитации. Так, зерно сплава АЛ7 в первом случае соответствует 7-му баллу, а во втором — 4—5-му баллу стандартной шкалы ГОСТ 5639—65.

Решающее влияние на физико-механические свойства литых алюминиевых сплавов оказывает первичная структура, т. е. размер дендритов. Более высокая скорость затвердевания отливки при литье под низким давлением способствует измельчению первичных зерен; твердый раствор оказывается насыщенным легирующим элементом; происходит заполнение микропор усадочного происхождения эвтектической составляющей. Следовательно, в самой основе процесса литья под низким давлением имеется возможность получения более высоких механических свойств. В табл. 3.45 приведено сравнение механических свойств сплавов АЛ2, АЛ9, АЛ7 при различных видах кристаллизации.

3.45. Влияние условий кристаллизации на механические свойства алюминиевых сплавов

Марка сплава	Вид термической обработки	Кристаллизация под давлением					
		атмосферным			низким		
		σ_B в кгс/мм ²	δ_5 в %	НВ	σ_B в кгс/мм ²	δ_5 в %	НВ
АЛ2	Т1	18,5	2,0	50,0	23,0	5,0	65,0
АЛ9	Т5	22,0	2,5	60,0	26,0	3,5	75,0
АЛ7	Т4	26,0	6,0	60,0	30,7	13,0	87,0

Наиболее совершенной машиной для литья под низким давлением является машина модели ЛНД-4 (рис. 3.46), представляющая собой сочетание механизированного станка для литья в кокиль с установкой для литья под низким давлением.

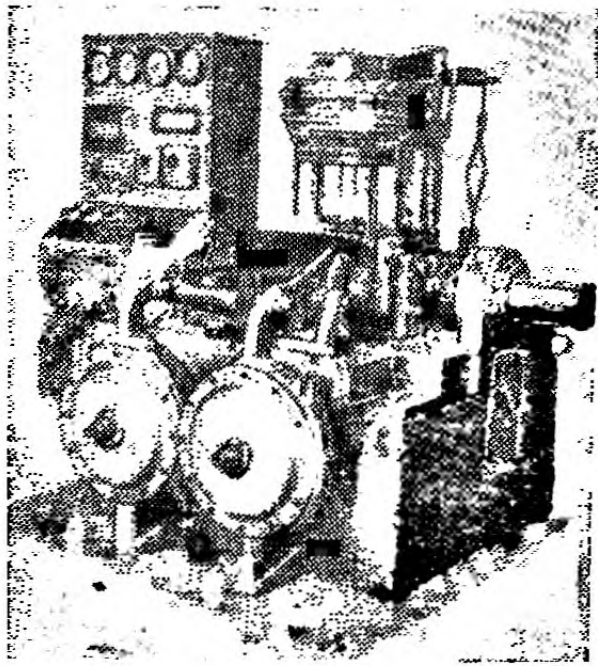


Рис. 3.46. Машина для литья под низким давлением модели ЛНД-4

Она предназначена для получения отливок из алюминиевых сплавов размером до 300 мм. По сравнению с ранее разработанными конструкциями преимущества машины модели ЛНД-4 заключаются в том, что ее можно применять на любом заводе, производящем кокильное литье, т. е. она не специализированная. При разработке проекта был учтен опыт эксплуатации других машин этого типа, а также конструктивные схемы машин, принятые зарубежными фирмами.

Для определения типов и числа комплектующих механизмов машины была изучена номенклатура отливок, получаемых литьем в кокиль, и разбита на группы по характерным признакам. Компоновка машины допускает применение кокилей, охватывающих почти 90%

номенклатуры отливок, обычно получаемых литьем в кокиль с ковшовой заливкой. На машине можно устанавливать кокили с различными разъемами. Ниже приведена краткая техническая характеристика машины модели ЛНД-4:

Наибольшие размеры в мм:

изготавливаемых отливок	350 × 300 × 300
собираемого кокиля	500 × 400 × 400
плиты-основания	600 × 500 × 75

Начальное усилие (при давлении в сети 4 кгс/см²) в кгс:

разъема основных матриц	7500
подрыва металлических стержней в вертикальном направлении	7500

Усилие в кгс:

движения каждой из основных матриц после подрыва подъема металлического стержня после подрыва из отливки	850
подъема металлического стержня после подрыва из отливки	300

Величина в мм:

перемещения каждой матрицы при подрыве от отливки подъема металлического стержня после подрыва из отливки	20
подъема металлического стержня после подрыва из отливки	250

Расстояние между основными матрицами при полном раскрытии в мм

400

Направление удаления металлических стержней

Любое, кроме вертикального вниз

Привод силовых механизмов Пневматический

Выталкивание отливок Автоматическое

Емкость тигля (полезная) для алюминиевых сплавов в кг 125

Установочная электрическая мощность в кВт 45

Давление воздуха в кгс/см²:

для силовых механизмов	Не менее 4.
» формообразования отливки	0,1—0,3
» кристаллизации отливки	0,3—0,7
Проектная производительность (отливок в час)	12—15
Габаритные размеры в мм	2000×1700×1770

Дальнейшее усовершенствование и развитие процесса литья под низким давлением идет по пути механизации и автоматизации этого процесса. В Институте проблем литья АН УССР разработаны установки

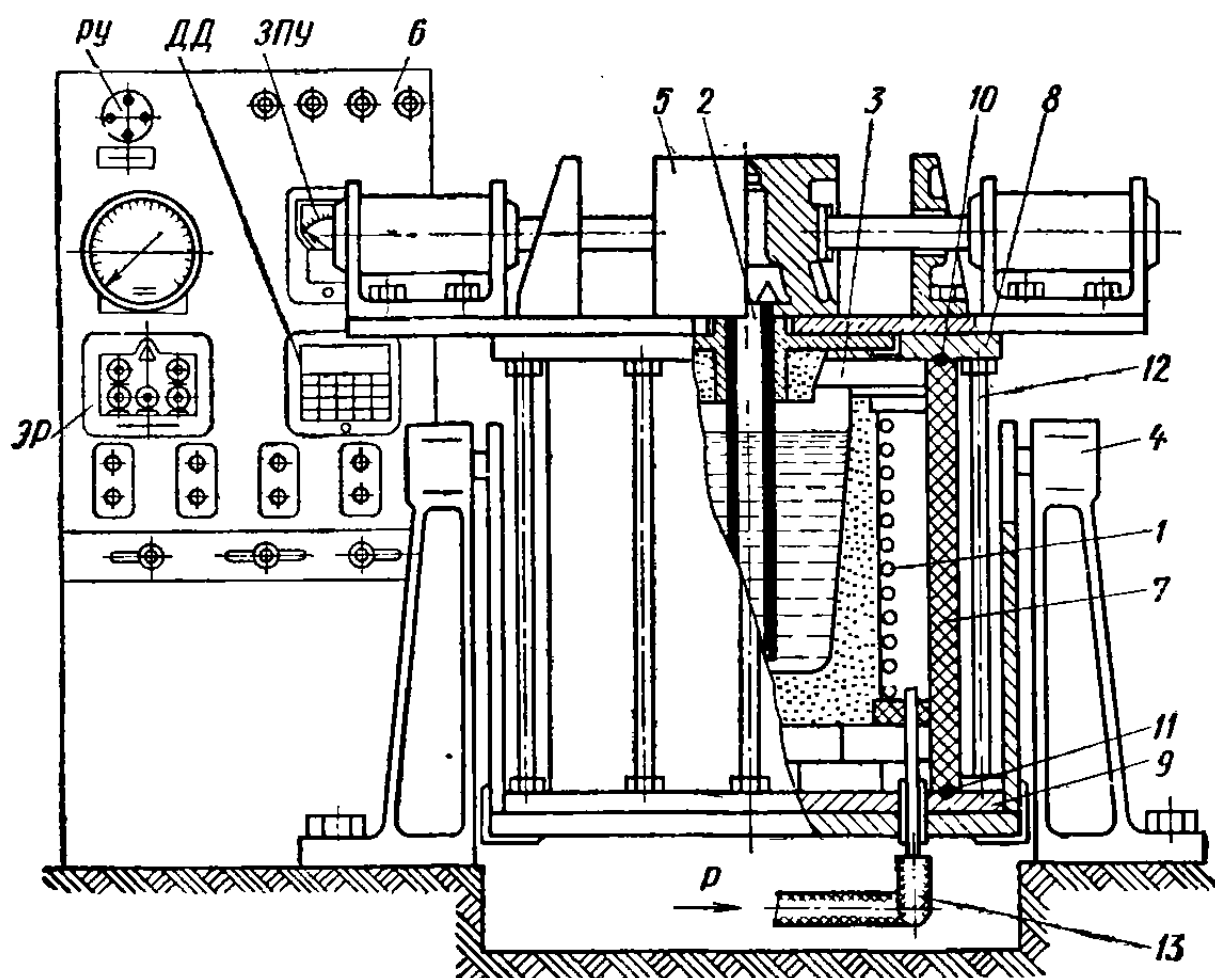


Рис. 3.47. Установка для литья под низким регулируемым давлением с автоматическим управлением процесса заливки:

1 — индукционная печь; 2 — металлопровод; 3 — камера; 4 — поворотное устройство; 5 — кокильный станок; 6 — щит управления; 7 — асбоцементная труба; 8 — крышка; 9 — днище; 10 и 11 — резиновые прокладки; 12 — стяжные шпильки; 13 — штуцер; ЭР — электронный регулятор; ЗПУ — задающее программное устройство; ДД — датчик давления; РУ — регистрирующее устройство

для литья под низким регулируемым давлением и с автоматическим управлением процесса заливки. Установки могут работать в комплекте с кокильной машиной или с использованием разовых форм. Они состоят из следующих основных частей (рис. 3.47): индукционной печи 1, металлопровода 2, камеры 3, поворотного устройства 4, кокильного станка 5 и щита управления 6. Кожух камеры, выполненный из асбоцементной трубы 7, позволяет значительно уменьшить размеры авто-

клава и практически полностью устранить потери мощности печи в процессе плавки, имеющие место в случае изготовления камеры из металлических материалов.

Герметизация автоклава осуществляется с помощью крышки 8 и днища 9, которые прижимаются через резиновые прокладки 10 и 11 к кожуху камеры стяжными шпильками 12 из немагнитной стали.

Чтобы исключить замыкание, токопроводы индуктора заключают в фарфоровые втулки, скрепленные эпоксидной смолой.

Подвод воздуха в камеру, и вывод производят через штуцера 13, расположенные в днище установки. Узел металлопровода выполнен сборным и состоит из графитошамотной трубы, соединенной с металлическим фланцем уплотненной теплоизоляционной смесью.

Возможность регулирования процесса заполнения форм жидким сплавом — одно из преимуществ метода литья под низким давлением. Применение системы управления с программным устройством позволяет автоматически поддерживать заданный режим процесса заполнения и управлять работой установки. Система состоит из электронного регулятора ЭР, задающего программного устройства ЗПУ, датчиков давления ДД и регистрирующих устройств РУ.

Требуемый по технологии режим заполнения формы выдерживается с помощью замкнутой системы автоматического регулирования давления в герметизированной камере. На вход электронного регулятора поступает задающий сигнал программного устройства и сигнал датчика давления воздуха в камере (обратная связь). Выходной сигнал регулятора управляет электродвигателем привода игольчатого клапана, автоматически регулирующего расход в камере при заливке. С помощью потенциометра программного устройства время заполнения формы может быть задано в пределах 7—25 с, что позволяет легко выбрать требуемый режим заливки. Время выдержки металла под давлением, необходимое для затвердевания отливки, задается реле времени, которое включается автоматически после заполнения формы металлом. Система управления снабжена автоматическими показывающими и самопишущими приборами, регистрирующими давление в камере при каждом цикле заливки.

2. ПОЛУЖИДКАЯ ШТАМПОВКА ОТЛИВОК

Метод получения отливок полужидкой штамповкой имеет следующие особенности: под действием высокого давления и быстрого охлаждения в металлической форме газы, растворенные в сплаве, остаются в твердом растворе, все усадочные поры принудительно заполняются жидким сплавом, в результате чего отливка получается плотной, с мелкокристаллическим строением и высокими механическими свойствами. Кроме того, отливки, полученные штамповкой из жидкого сплава, имеют высокую точность размеров и хорошую чистоту поверхности.

В табл. 3.46 приведены типичные механические свойства алюминиевых сплавов при литье методом полужидкой штамповки, а на рис. 3.48 — деталь из сплава АЛ9, полученная этим методом.

Необходимо отметить, что этим методом можно получить разнообразные по конфигурации и массе отливки из любых алюминиевых сплавов, в том числе из широкоинтервальных (АЛ19), которые практически невозможно лить в кокиль. Свойства сплава АЛ19 при этом приближаются к свойствам деформируемого сплава АК6. Механические свой-

ства отливок (особенно пластичность), штампованных из полужидкого сплава, по сравнению с кокильными отливками значительно выше (табл. 3.31).

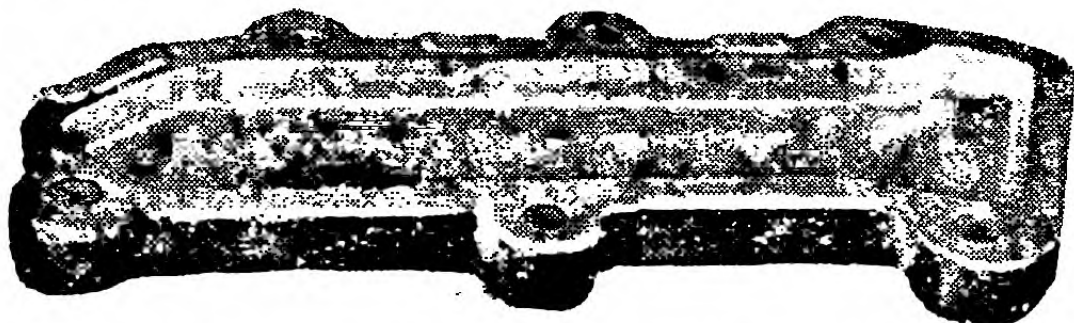


Рис. 3.48. Деталь из сплава АЛ9, полученная методом полужидкой штамповки

Сравнение макроструктур показывает, что кокильные отливки имеют более крупное зерно и явно выраженные столбчатые кристаллы. Структура отливок, полученных методом полужидкой штамповки, более мел-

3.46. Механические свойства алюминиевых сплавов при различных методах получения заготовок

Марка сплава	Метод получения заготовки	Вид термической обработки	σ_B в кгс/мм ²	δ_5 в %
АЛ9	Литье в кокиль	—	16,0	2,0
		T2	14,0	2,0
		T4	19,0	4,0
	Полужидкая штамповка	—	19,5	8,3
		T2	14,0	5,6
		T4	19,9	9,0
АЛ5	Литье в кокиль	T6	18—24	1,0—1,5
	Полужидкая штамповка	—	19—25	6—12
АЛ19	Литье в песчаные формы	T5	28—34	4—7
	Полужидкая штамповка	T5	37,5—45,5	6,5—12,0
АК6	Горячая штамповка	T5	40,6—46,3	12,0—16,0

Примечание. Образцы вырезаны из заготовки.

козернистая. Только в нижней части отливок видны столбчатые кристаллы, образующиеся во время свободной заливки металла в матрицу.

С повышением давления наблюдается измельчение зерна. Аналогичные результаты получаются при затвердевании отливок в обычных условиях, но с возрастающими скоростями охлаждения. При полужидкой штамповке интенсивность теплообмена на границе отливка — форма практически не изменяется от величины приложенного давления, так как обеспечивается плотное прилегание отливки к форме и при низких и при высоких давлениях.

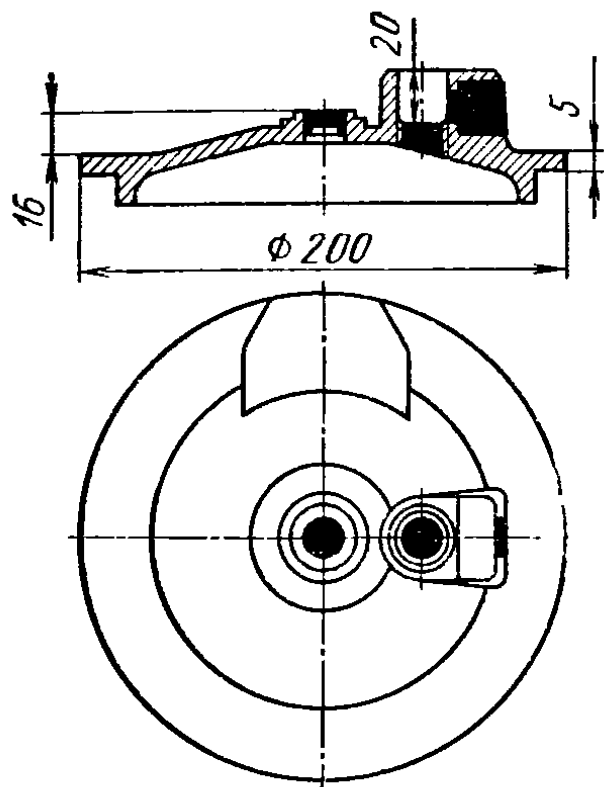


Рис. 3.49. Деталь-крышка, полученная методом полужидкой штамповки

кающие при кристаллизации поры. Отливка получается плотной.

Схема технологического процесса полужидкой штамповки. В установленном на столе пресса корпусе штампа крепят матрицу и пуансон для соответствующей детали, на их рабочие поверхности пульверизатором наносят тонкий слой краски. Жидкий сплав из мерного ковша заливают в камеру сжатия или в открытую форму матрицы и после непродолжительной выдержки давят пуансоном. После выдержки под давлением в течение нескольких секунд (в зависимости от толщины стенки и массы залитого металла) отливку извлекают из матрицы при движении пуансона вверх либо при помощи выталкивателей.

Рассмотрим на примере штамповку детали (рис. 3.49) из жидкого сплава на вертикальном четырехколонном гидравлическом прессе мощностью 200 тс. Порция сплава при температуре 700—740° С мерной ложкой заливается в дополнительную камеру (рис. 3.50), которая образуется в результате смещения на 35 мм съемника 10 вверх относительно пресс-пуансона 5. Смещение осуществляется гидроупорами 11 с силой 15 тс. Дальнейший ход съемника ограничивается гайками 7, связанными с тремя колонками 4, закрепленными в съемнике. После заливки сплава включается пресс и штамп закрывается. Съемник при

В случае плотного контакта скорость отвода теплоты от отливки во внешнюю среду определяется теплопроводящей способностью формы, не зависящей от давления. Очевидно, давление во время кристаллизации влияет в основном не на скорость охлаждения отливки, а на кинетику кристаллизации. При кристаллизации сплава в кокиле вследствие усадки в отливке образуется множество микропор. Наличие микропор в кокильной отливке соответствует уменьшению эффективной площади поперечного сечения образца при разрыве. Это снижает прочность и пластичность, так как поры действуют как микронадрезы. При полужидкой штамповке под действием высокого давления жидкий сплав принудительно проталкивается в возни-

соприкосновении с пресс-матрицей 3 останавливается, а пресс-пуансон продолжает подниматься, выдавливая при этом сплав в образовавшуюся полость. Запрессованный сплав выдерживается под давлением до полной кристаллизации в течение 30—40 с, после чего штамп раскрывается. В момент раскрытия пресс-пуансон начинает двигаться вместе со столом пресса, а съемник с помощью трех гидроупоров, расположенных в постаменте 8 под углом 120° , удерживается в верхнем положении до тех пор, пока не исчезнет зазор между упорными гайками и плитой 6. Таким образом осуществляется съем отливки с пресс-пуансона. Отливка при этом остается в пресс-матрице. Съем со стержня 9 и извлечение отливки из пресс-матрицы производится системой выталкивателей 2 с помощью специального гидропривода 1.

Производительность этого пресса составляет около 200 отливок в смену.

Для сложнофасонных крупногабаритных отливок изготавливают индивидуальные металлические формы. На многих заводах для мелких деталей изготавливают унифицированные штампы со сменными деталями: пуансоном, матрицей и направляющими планками. Таким образом, удается значительно снизить затраты на оснастку и уменьшить себестоимость отливок. Это позволяет применять метод полужидкой штамповки для изготовления малой серии отливок. Для штамповки из жидкого расплава применяют различные прессы: кривошипные, фрикционные, гидравлические и др.

Н. Н. Белоусов и Л. И. Неверов предложили использовать для штамповки из жидкого сплава машины для литья под давлением с горизонтальной камерой прессования и разработали для этого форму специальной конструкции [17]. Такая форма (рис. 3.51) работает следующим образом. Через окно 4 в камеру прессования заливается порция жидкого сплава. Машина включается на прессование, плунжер 5 движется и перекрывает окно 4, после чего начинается откачка воздуха из формы через штуцер 1, соединенный с вакуумным аккумулятором, в котором создается разрежение насосом ВН-4. При дальнейшем ходе плунжера 5 создается давление на жидкий сплав (около 5 ат), затем преодолевается сопротивление пружины 2, которая сжимается, клапан 3 перемещается и через образовавшуюся щель сплав поступает в форму.

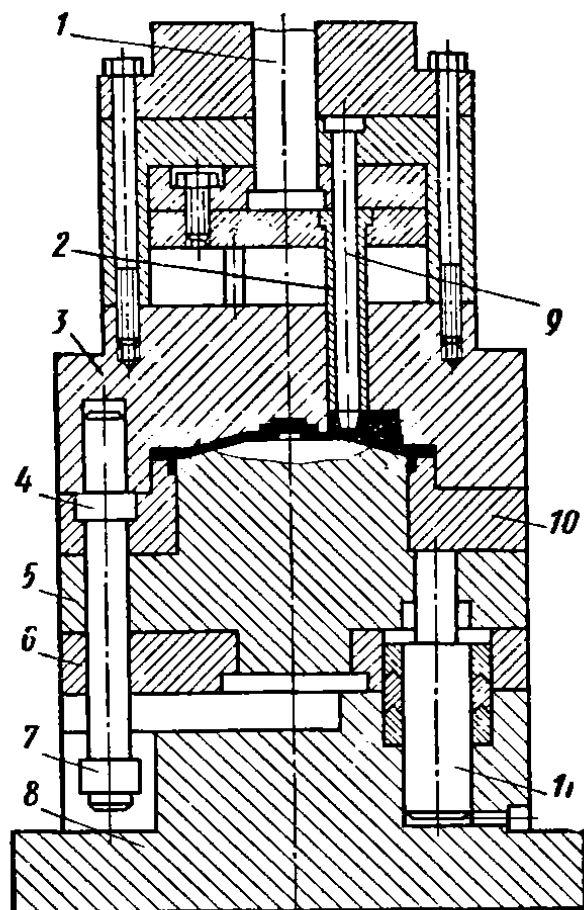


Рис. 3.50. Приспособление для штамповки из жидкого металла:

1 — гидропривод; 2 — толкатели; 3 — пресс-матрица; 4 — колонки; 5 — пресс-пуансон; 6 — плита; 7 — упорные гайки; 8 — постамент; 9 — стержень; 10 — съемник; 11 — гидроупор

После затвердевания отливки прекращается откачка воздуха, форма раскрывается и отливка толкателями 6 и 7 удаляется из формы.

Основными параметрами, определяющими качество отливок, являются давление и скорость прессования, дозирование порции сплава и выдержка под давлением.

Давление прессования колеблется для разных отливок и сплавов в широком диапазоне. В зависимости от толщины стенок и конфигурации отливки, от технических требований к ней при штамповке алюминиевых сплавов давление прессования изменяется в пределах от

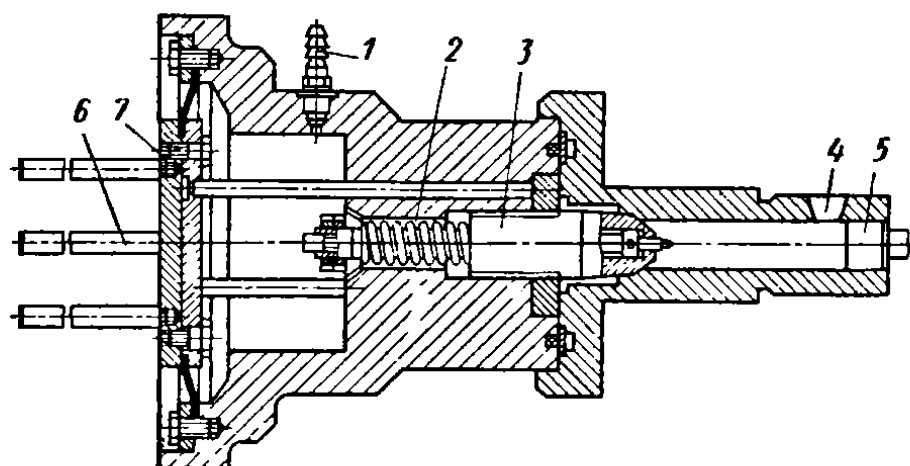


Рис. 3.51. Конструкция формы для штамповки жидкого сплава с применением вакуума на машинах литья под давлением с горизонтальной камерой:

1 — штуцер; 2 — пружина; 3 — клапан; 4 — заливочное окно; 5 — плунжер; 6 и 7 — толкатели

300 до 1000 кгс/см². Давление прессования является важнейшим параметром, влияющим на остальные параметры технологического процесса.

Скорость прессования зависит от температуры сплава, толщины стенки и конфигурации отливки. Чем проще конфигурация отливки и больше толщина ее стенок, тем меньше должна быть скорость прессования. Тонкостенные отливки больших размеров и сложной конфигурации требуют большей скорости прессования, приближающейся к ударной. Оптимальными скоростями для прессования алюминиевых сплавов являются 0,2—0,4 м/с.

На качестве отливок сказывается также дозирование заливаемого в матрицу сплава. Недостаточное количество сплава может привести к образованию усадочных дефектов. Поэтому, как правило, в матрицу заливают небольшое избыточное количество расплава.

Продолжительность выдержки отливки под давлением зависит главным образом от толщины тела отливки. Общее время выдержки отливки в форме должно быть минимальным, но вполне достаточным для формообразования и завершения кристаллизации отливки под давлением. Для мелких отливок из алюминиевых сплавов время выдержки под давлением составляет 20—40 с. При полужидкой штамповке отливок с толщиной тела до 100 мм и больше выдержка под давлением должна быть не менее 10—15 с на каждые 10 мм толщины тела отливки.

В табл. 3.47 приведены механические свойства сплава АЛ9 при различных давлениях прессования и продолжительности выдержки.

3.47. Механические свойства сплава АЛ9
(после термической обработки)
в зависимости от давления прессования и времени выдержки
(по данным А. С. Ковалева)

Давление прессования в кгс/см ²	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ_5 в %	НВ	Давление прессования в кгс/см ²	Выдержка под давле- нием в с	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ_5 в %	НВ
	в кгс/мм ²						в кгс/мм ²			
600	22,3	12,4	13,7	71	2400	0	20,3	12,1	11,7	72
800	24,4	13,8	17,0	71	2400	15	23,3	12,1	13,7	72
1000	22,9	11,2	7,0	71	2400	30	23,5	13,1	9,0	72
1200	22,3	12,9	9,7	78	2400	45	25,4	15,2	9,7	80
1400	23,3	12,1	18,7	76	2400	60	24,4	13,4	10,0	76
1600	25,8	14,1	10,7	76	2400	75	21,9	12,1	10,7	72
1800	24,0	13,8	16,3	76	2400	90	22,9	11,7	13,3	72
2000	24,7	14,1	15,0	72	2400	105	25,4	13,1	10,7	76
2200	24,0	13,5	16,7	74	2400	120	25,1	12,1	9,0	80

Неограниченный выбор сплавов, широкая номенклатура деталей для литья этим методом, высокие механические свойства и экономия металла, достигающая 60—70% из-за отсутствия литниковой системы, — эти преимущества должны способствовать разработке специальных конструкций прессов, предназначенных для полужидкой штамповки.

3. ЛИТЬЕ ВЫЖИМАНИЕМ

Метод литья выжиманием предназначен для получения тонкостенных крупногабаритных деталей панельного и в ряде случаев корпусного типа.

Метод выжимания позволяет получать оребренные панели без механической обработки с толщиной стенки до 1,5—2,0 мм при площади до 2 м² и более. Изделия, собранные из литых панелей, выгодно отличаются по технико-экономическим показателям от изделий, изготовленных методом клепки из листового проката и прессованных профилей. Прочность конструкций, собранных из литых панелей, не уступает прочности клепаной конструкции. В ряде случаев замена клепаной конструкции на литую позволяет уменьшить массу изделия.

Опыт серийного производства панелей методом выжимания показывает, что технологический процесс производства изделий с использованием литых панелей стабилен, легко поддается механизации и достаточно мобилен при наладках. К отливкам, получаемым методом выжимания, относятся элементы кузовов автомашин, фюзеляжи, стабилизаторы, различного рода настилы, перекрытия и т. д. Получение таких деталей другими способами литья невозможно из-за того, что не удастся заполнить форму, имеющую вид узкой щели большой протяженности.

В процессе литья происходит очистка сплава от газовых и шлаковых включений, которые отжимаются к центру потока и выносятся вместе с избытком сплава за пределы формы.

Питание отливки осуществляется жидким сплавом, подаваемым из металлоприемника в зоны кристаллизации. Непрерывное повышение

статического давления в жидком сплаве, а также механическое сжатие с двух сторон способствуют пропитыванию кристаллизующихся слоев. Сложнее осуществлять питание и направленное захлаживание ребер жесткости, бобышек и утолщений в отливках. В случае недостаточного питания бобышек из основного потока металла можно устанавливать глухие питающие прибыли в стержне отливки, как это делается при литье в песчаные формы и в кокиль. Обычно пропитку утолщенных частей алюминиевых отливок сочетают с захлаживанием подприбыльной части утолщения.

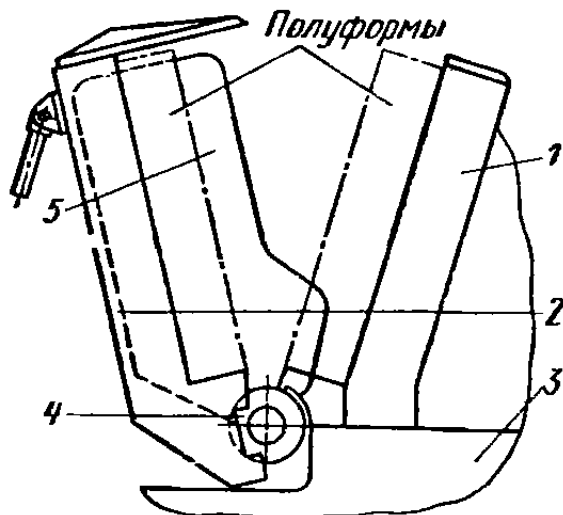


Рис. 3.52. Конструктивная схема машины с односторонним сближением полуформ при литье выжиманием:

1 и 2 — неподвижная и подвижная створы; 3 — станина; 4 — вал машины; 5 — боковые щеки

Конструкция формы при литье выжиманием позволяет использовать холодильники различной конструкции, которые повышают интенсивность местного отвода теплоты от формы.

Процесс выжимания осуществляется на литейно-выжимных машинах. Для литья деталей панельного типа из алюминиевых сплавов получили распространение машины с угловым перемещением полуформ (одной из двух). Конструктивная схема машины для одностороннего сближения полуформ приведена на рис. 3.52. Неподвижную створу 1 жестко крепят к станине 3; подвижная створа 2 поворачивается вместе с полым валом 4. Нижние части створ, вал и боковые щеки 5 образуют полость для заливки сплава (металлоприемник). К створам ма-

шины крепят полуформы (металлические или песчаные), оформляющие в процессе выжимания поверхности отливки.

Отливки коробчатого типа получают на машинах с двусторонним сближением створ. Внутренняя полость отливки выполняется стержнем.

Сближение створ выжимных машин осуществляется с помощью привода, позволяющего изменять скорость сближения.

Отличительной чертой литья выжиманием является то, что формирование отливок происходит одновременно с заполнением формы и заканчивается в момент окончания ее заполнения. В начале процесса выжимания поперечное сечение формы в десятки раз больше толщины будущей отливки. Вследствие этого создаются гидравлические и теплофизические условия, позволяющие получать крупногабаритные отливки с тонкими стенками.

При заполнении формы резко снижается температура жидкого сплава, в результате заполнение формы происходит металлическим потоком, представляющим собой смесь твердых кристаллов и жидкой фазы сплава. К концу процесса выжимания сплав достигает состояния кашеобразной массы, которая после остановки потока мгновенно схватывается и принимает конфигурацию отливки. Заполнение полости формы сплавом, находящимся в жидком состоянии с огромным числом готовых центров кристаллизации, способствует образованию плотной и мелкозернистой структуры отливок. Кроме того, отливки обладают повышенными механическими свойствами.

Существующие литейно-выжимные машины позволяют получать панели с максимальными размерами 2100×1200 мм. Толщина стенки полотна панели не зависит от габаритов детали: может быть равномерной по всей площади панели или переменной в любых направлениях по площади полотна. Панели получают при выжимании в металлическую форму по 5-му классу точности (нормаль АН 1026—55), в комбинированную форму по 6-му, в песчаную форму — по 7-му.

При формировании поверхности панели металлической полуформой достигается шероховатость поверхности не ниже 4-го класса чистоты, а при формировании песчаной полуформой (окрашенной противогригарной краской) — не ниже 3-го класса чистоты (ГОСТ 2789—59).

Наиболее технологичными для литья панелей выжиманием являются сплавы с минимальным интервалом кристаллизации, например алюминиевокремниевые. При выборе сплава для крупногабаритных тонкостенных панелей следует отдавать предпочтение сплавам, которые не требуют термической обработки, так как последняя вызывает значительное коробление таких деталей.

Тонкостенные крупногабаритные панели в подавляющем большинстве используют в качестве силовых элементов в конструкции изделий. Одна из поверхностей панели является теоретическим контуром изделия. Поэтому для литья таких панелей необходимо использовать металлическую форму (матрицу) для формирования теоретического контура панели.

При производстве более 1000 панелей в год целесообразно применять форму из двух металлических полуформ: матрицы для формирования гладкой наружной поверхности панели и стержня для формирования внутренней поверхности изделия, имеющей ребра жесткости, бобышки или платики.

К металлической форме для выжимания панелей предъявляются следующие требования.

1. Форма должна обладать жесткостью конструкции и заданной точностью геометрических размеров как в холодном, так и в нагретом до 200—300° С состоянии, чтобы обеспечить получение отливок соответствующих размеров и массы.

2. Конструкция формы должна обеспечить заполнение узких ребер, поднутрений и т. д. и получение поверхности отливки, соответствующей 3—4-му классам чистоты (ГОСТ 2789—59).

3. Конструкция формы должна обеспечить отвод газов и воздуха в период ее заполнения жидким сплавом и кристаллизации отливки.

4. Материал формы должен быть теплостойким и противостоять образованию разгарных трещин и других разрушений от теплового воздействия. Коэффициенты теплового расширения отдельных частей формы, изготовленных из разных материалов, должны быть близки по значению.

5. В конструкции стержня, формирующего ребренную поверхность панели, должна быть предусмотрена специальная система толкателей для снятия отливки.

6. В металлических полуформах должны быть электронагреватели для нагрева формы до необходимых температур.

Для литья выжиманием применяют металлические полуформы трех типов: монолитные, блочные и блочно-пластинчатые. Для матриц — блочно-пластинчатая или монолитная конструктивная схема, для стержней — блочная или монолитная.

Монолитные конструктивные схемы используют в случаях, когда панель имеет простую конфигурацию и площадь в плане не более 1 м².

Вентиляция металлических полуформ осуществляется системой вентиляционных каналов в стыках блоков и пластин формы или установкой специальных вентиляционных пробок.

Вентиляционные пробки устанавливают в зоне повышенных скоростей течения сплава, в поднутрениях и в местах резких изменений направления течения сплава и сечения полости формы.

При проектировании и изготовлении металлической формы линейную усадку следует принимать равномерной во всех трех направлениях отливки. Для плазовых поверхностей изготавливают специальный усадочный плаз.

Металлические формы для панелей следует предварительно нагревать до 200—250° С.

Подготовка металлической формы к работе заключается в выполнении следующих операций.

1. При наладке:

очистка поверхностей полуформ от старой краски, ржавчины и других загрязнений;

очистка вентиляционных пробок от заливов металла;

установка и закрепление полуформ на створах выжимной машины;

проверка правильности установки полуформ шаблоном или другими средствами;

нагрев полуформ до 150—170° С;

нанесение на рабочие поверхности полуформ теплоизоляционного покрытия;

нагрев полуформ до технологической температуры выжимания.

2. После отладки в процессе эксплуатации:

осмотр состояния формы и теплоизоляционного покрытия;

нагрев полуформ до технологической температуры выжимания;

ремонт теплоизоляционного покрытия (нанесение покрытия в местах повреждения).

Теплоизоляционные покрытия должны обладать следующими свойствами:

а) минимальной газотворной способностью;

б) хорошей сцепляемостью с поверхностью формы;

в) максимальной прочностью;

г) минимальной шероховатостью;

д) химической инертностью к металлу;

е) определенной теплопроводностью.

Толщину покрытия контролируют микротолщиномером путем скабливания с последующей закраской.

Составы теплоизоляционных красок, применяемых при литье выжиманием, приведены в табл. 3.48.

Краски составов 1 и 2 применяют для покрытия рабочей части формы, состава 3 — для покрытия металлоприемника перед заливкой.

При отладке процесса литья панелей следует использовать для покрытия формы краску состава 1, а после отладки при установившейся технологии — краску состава 2.

В формах для литья выжиманием песчаные полуформы служат для выполнения ребренных поверхностей. Для выполнения отдельных частей панелей (карманов, поднутрений и т. д.) применяют песчаные

3.48. Составы красок для теплоизоляционных покрытий металлической формы

Состав	Исходные материалы	Содержание в % по массе	ГОСТ
1	Асбест, обожженный и размолотый	6—7	ГОСТ 10262—73 ГОСТ 13078—67
	Окись цинка	2—3	
	Стекло жидкое натриевое	5—6	
2	Вода	Остальное	—
	Асбест, обожженный и размолотый	6—7	ГОСТ 10262—73 ГОСТ 13078—67
	Окись цинка	2—3	
Стекло жидкое натриевое	5—6		
3	Кремнефтористоводородный натр	0,2	—
	Вода	Остальное	—
	Асбест, обожженный и размолотый	6—7	ГОСТ 10262—73 ГОСТ 879—52 ГОСТ 5420—50 ГОСТ 13078—67
	Окись цинка	2—3	
	Тальк	1	
	Графит	1	
	Стекло жидкое натриевое	5—6	
Вода	Остальное		
		—	

стержни-вставки, которые можно устанавливать в металлических и в песчаных полуформах.

В зависимости от конструкции, размеров и точности панели, а также серийности и характера производства песчаные полуформы применяют в сыром и в сухом состоянии.

Песчаные полуформы и стержни должны быть изготовлены с точностью не ниже, чем половина допуска на соответствующие размеры отливаемых панелей.

Конструкция песчаных полуформ и стержней, технология их изготовления, а также формовочные смеси должны обеспечить жесткость, исключаящую прогиб полуформ и стержней при подъеме и транспортировке, и достаточную прочность, чтобы противостоять давлению выжимаемого сплава, достигающему к концу выжимания 2—3 кгс/см² при толщине стенки панели около 3 мм и 3—5 кгс/см² при толщине стенки около 2 мм.

Песчаные полуформы и стержни должны обладать податливостью, исключаящей образование усадочных трещин.

Формовочные смеси (табл. 3.49) должны обладать малой газотворной способностью и большой газопроницаемостью (сырые не менее 50, сухие не менее 100 ед.).

3.49. Составы формовочных и стержневых смесей для литья выжиманием и их свойства

Смесь	Исходные материалы	Содержание в % по массе	Газопроницаемость	Предел прочности в кгс/см ²		Влажность в %
				по-сырому	по-сухому	
Песчано-бентонитовая	Песок КК016А Бентонит БП Вода	88—90 6—7 4—5	160—200	0,5—0,8	—	5—6
Песчано-глинистая	Песок КК02А Формовочная глина Вода	63—68 28—32 4—5	60—100	0,4—0,6	—	5—6
Стержневая	Песок КК02А Связующее ПВС Вода	95,5 4 0,5	120	0,065—0,08	14	3,3—3,8

Установка песчаных стержней и полуформ в выжимных машинах должна быть удобной, безопасной и обеспечивать необходимую точность сборки формы.

Для литья панелей выжиманием применяют сплавы АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ4М, ВАЛ5, АЛ23-1. механические свойства которых приведены в табл. 3.50.

Выбор оборудования (табл. 3.51) для литья панелей выжиманием зависит от конструкции и габаритов панели.

3.50. Механические свойства алюминиевых сплавов при литье выжиманием (по данным А. С. Мусияченко)

Сплав	Гид термической обработки	Форма			
		металлическая		комбинированная	
		σ_B в кгс/мм ²	δ_5 в %	σ_B в кгс/мм ²	δ_5 в %
АЛ2	T2	15,0	4,0	14,0	3,0
АЛ4	T6	23,0	3,0	20,0	2,0
АЛ9	T4	18,0	4,0	17,0	3,0
ВАЛ5	T5	30,0	2,0	26,0	1,0
АЛ23-1	T4	25,0	10,0	20,0	5,0

Примечание. Образцы плоские, вырезанные из полотна или прилива панели.

3.51. Технические характеристики литейно-выжимных машин

Параметры	Модель машины			
	ВЛ-1	ВЛ-5	ВЛ-10	ВЛ-30
Максимальные размеры деталей в мм	2100×1100 460	2100×1000 420	2100×1100 460	1000×600 460
Размер зева машины в мм	2,0	2,0	2,0	1,5
Наименьшая толщина панели в мм	2,0	2,0	2,0	1,5
Максимальное усилие выжимания в кгс	6800	27 000	30 000	15 000
Максимальный угол раскрытия створ в град.	30	40	30	30
Продолжительность сближения створ в с	4—11	5—25	6—12	5—10
Объем металлоприемника в л	25	40	25	10
Мощность нагревателей металлоприемника в кВт	16,0	50,0	16,0	8,0
Привод	Электро-механический		Гидравлический	
Мощность электродвигателя привода в кВт	4,5	20,5	10,0	8,0
Установочная мощность машины в кВт	41,3	173,6	68,0	32,2
Габаритные размеры машины в мм	3240× ×2850× ×2120	4650× ×4060× ×2310	2600× ×2650× ×2500	2960× ×1685× ×1625 6000
Масса машины в кг	9500	9000	9000	9000

Форма для литья выжиманием отличается от форм для литья другими способами следующими особенностями:

- 1) сечение полости формы в процессе литья меняется;
- 2) в форме нет элементов обычной литниковой системы (стояка, коллектора, питателей и др.);
- 3) полость формы заполняется сплавом принудительно, широким потоком за счет сближения полуформ по заданному режиму.

С торцов полуформ рабочая полость герметизируется боковыми щеками литейно-выжимной машины.

Основные дефекты, характерные для литья выжиманием, причины их образования и методы устранения приведены в табл. 3.52.

3.52. Основные дефекты отливки, получаемых выжиманием, и методы их устранения

Дефект	Причины образования	Методы устранения или предупреждения
Толстостенность	Неправильная сборка формы, слабое уплотнение стержня, нарушение режима работы машины	Строго контролировать сборку формы и уплотнение стержня, отрегулировать работу машины и режим формирования отливки

Продолжение табл. 3.52

Дефект	Причины образования	Методы устранения или предупреждения
Волнистость	Турбулентное движение сплава при превышении критической скорости потока	Отрегулировать скорость сближения створа и снизить температуру сплава, что позволит повысить критическую скорость потока
Динамические разрывы	Увеличение скорости потока в конце процесса выжимания	Сближение створ следует производить со скоростью, не превышающей критическую (для алюминиевых сплавов около 2 м/с)
Коробление	Асимметричность конструкции отливки, приводящая к неравномерной усадке	Доработка конструкции, соблюдение правил эксплуатации оснастки и режима охлаждения отливки
Усадочные трещины	Затрудненная усадка отливки; повышенное содержание вредных примесей, образование заусенцев и заливов между полуформами и щеками машины	Уменьшить прочность песчаных полуформ и стержней, обеспечить равномерный прогрев металлической формы; снизить содержание вредных примесей; устранить возможность образования заусенцев

4. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

Центробежное литье по сравнению с литьем в неподвижные формы имеет следующие преимущества.

1. Отливки имеют мелкую структуру.
2. Центробежные отливки в меньшей степени загрязнены неметаллическими включениями (в изломе отливки редко встречаются шлаковый или песчаный засор и газовые раковины).
3. Для образования отверстия в цилиндрических отливках не требуется стержень.
4. Отсутствие во многих случаях литниковой системы значительно уменьшает расход жидкого металла.
5. Возможность получения тонкостенных отливок.

Центробежный метод особенно рационален при производстве высококачественных отливок, имеющих форму тел вращения, а также деталей типа турбинок, изготовление которых обычным способом литья затруднено вследствие невозможности получения четкой конфигурации сложного профиля лопаток, имеющих размер по кромке 0,1—0,15 мм (рис. 3.53).

Повышение качества (прочности и плотности) центробежных отливок по сравнению с отливками, полученными в разовых формах и в кокиле, объясняется повышенной скоростью кристаллизации и пропитыванием междендритных усадочных пор сплавом при вращении формы.

Центробежный метод литья имеет и недостатки. Один из них — трудность получения точного размера отверстия в отливке, образованного свободной поверхностью. Это объясняется тем, что диаметр отверстия зависит от количества залитого в форму сплава: чем больше сплава, тем толще стенка отливки и меньше диаметр отверстия. Другим недостатком является ликвация (неоднородность химического состава) некоторых сплавов при заливке их во вращающуюся форму.

Все перечисленные преимущества и недостатки центробежного метода литья объясняются особыми физическими условиями, в которых формируется отливка. Под действием центробежных сил протекает весь процесс формирования и кристаллизации отливки.

Поскольку расплавленный металл в результате охлаждения при соприкосновении с относительно холодными стенками формы затвердевает, то полученная при вращении формы конфигурация поверхности сохраняется.

Формирование отливки происходит под действием центробежной силы

$$P = \frac{Q}{g} r\omega^2,$$

где ω — угловая скорость в рад;

Q — масса сплава в кг;

g — ускорение свободного падения в м/с²;

r — расстояние центра тяжести рассматриваемого объема металла от оси вращения в м.

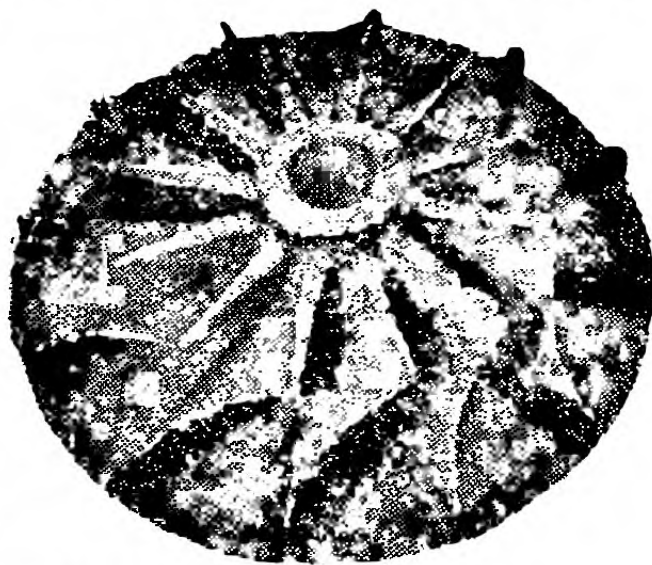


Рис. 3.53. Деталь «крыльчатка»

Наиболее подходят для центробежного литья эвтектические сплавы. В случае применения сплавов типа твердых растворов возможно образование ликвационных зон в отливках. Ликвация будет тем меньше, чем меньше интервал кристаллизации сплава, чем меньше разница в плотностях первичных кристаллов сплава и чем больше вязкость сплава (минимальная жидкотекучесть). Ликвация сильнее проявляется при увеличении числа оборотов и утолщении стенок отливки.

А. И. Байковым установлено, что при центробежном литье относительная величина усадки алюминиевокремниевых сплавов возрастает с увеличением скорости вращения.

Трудность получения качественных отливок центробежным методом из легких сплавов заключается в том, что эти сплавы отличаются повышенной склонностью к окислению; при вращении сплава образование окислов идет особенно интенсивно, что может снизить качество отливок.

При правильном подборе скорости охлаждения сплава и расчете скорости вращения формы можно получать достаточно однородные по составу и плотные отливки. Наиболее широко для центробежного литья используют алюминиевые сплавы АЛ2, АЛ4 и АЛ9. Механические свойства отливок зависят от скоростей кристаллизации сплава и вращения формы (табл. 3.53). Наиболее часто встречающиеся дефекты в центробежных отливках из алюминиевых сплавов приведены в табл. 3.54.

3.53. Механические свойства центробежных отливок из сплава АЛ12

Температура в °С		Частота вращения формы в об/мин	σ_B в кгс/мм ²	δ_5 в %	НВ
заливаемого сплава	формы				
723	102	450	16,67	5,00	53,00
728	100	600	17,50	4,73	53,33
738	98	750	18,00	4,60	55,00
733	108	900	18,30	4,20	55,70
731	98	1050	20,70	3,25	58,30
727	103	1200	21,00	3,25	59,00

3.54. Основные дефекты в центробежных отливках из алюминиевых сплавов

Дефект	Причины образования	Методы устранения или предупреждения
Горячие трещины	Нетехнологичная конструкция отливки, высокое содержание вредных примесей, неправильный выбор сплава	Доработка конструкции отливки, исключение затрудненной усадки. Снижение содержания вредных примесей и выбор более технологичного сплава
Мелкие спай на поверхности отливок	Прерывистое поступление металла в форму, низкая температура формы и сплава	Обеспечить плавное поступление металла в форму, экспериментально установить температуру формы и сплава
Газовая пористость	Повышенная газоиспользуемость сплава, низкая скорость кристаллизации	Тщательно рафинировать сплав комбинированными способами (вакуум + фильтрация, аргон + фильтрация и т. д.), увеличить скорость кристаллизации

В настоящее время разработан ряд технологических схем центробежного литья, с помощью которых можно получать отливки различного профиля. К числу таких схем относятся:

- заливка в металлическую форму;
- заливка в футерованную форму (сырую или сухую);
- заливка в разовую форму (центрифугирование).

Две первые схемы осуществляют на машинах с вертикальной или горизонтальной осью вращения; третью схему — только на машинах с вертикальной осью вращения.

Указанные схемы имеют преимущества и недостатки, поэтому выбор технологической схемы определяется, с одной стороны, конструкцией отливки, а с другой — экономической целесообразностью.

Из приведенных схем наиболее экономичной и обеспечивающей более качественное литье является первая, т. е. заливка в металлическую форму. Однако последняя схема имеет большее распространение, так как требует обычную формовку. Заливка форм производится на центробежной машине. В этом случае центробежная сила используется как средство получения более качественной отливки, а технология изготовления формы остается такой же, как и при стационарном литье.

Для отливки фасонных деталей из алюминиевых сплавов чаще всего применяют способ заливки в разовую форму (центрифугирование).

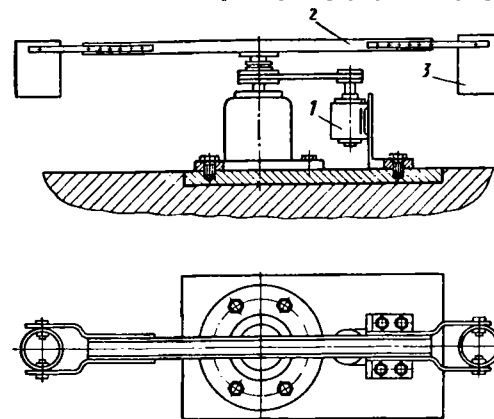


Рис. 3.54. Схема установки (центрифуги) для центробежной заливки разовых форм:

1 — привод; 2 — коромысло; 3 — опока, укрепленная с помощью шарнира на коромысле

В большинстве случаев машины для этой цели оснащены только столом для установки самой формы. Привод осуществляется от электродвигателя через передачу, позволяющую плавно или ступенчато регулировать скорость вращения формы. Используют также машины с гидравлическим приводом, который обеспечивает удобное и простое регулирование скорости вращения стола в зависимости от размеров деталей.

При центробежном литье применяют металлические и комбинированные формы. Для получения сложных отливок типа «турбинок» и «крыльчаток», имеющих тонкостенные лопатки, можно использовать гипсовые формы. Центробежная заливка обеспечивает оформление тонких сечений и кромок лопаток.

Центрифугированием можно изготовлять сразу несколько отливок в металлических или комбинированных формах. Этот метод применяют для заливки алюминием металлических пакетов роторов электродвигателей, а также его можно использовать при заливке керамических форм для получения более плотных отливок.

Для этого опоку с установленной в ней строго по центру керамической формой закрепляют на столе центробежной машины и производят

заливку во вращающуюся форму. Скорость вращения выбирают таким образом, чтобы не произошло разрушения формы под действием центробежных сил.

На рис. 3.54 приведена схема установки для заливки сплава АЛ9 в гипсовые и керамические формы. На коромысла длиной 1 — 2,2 м, вращающиеся вокруг вертикальной оси, крепят с помощью шарниров подвески с цилиндрическими опоками. В опоках устанавливают керамические или гипсовые формы, и засыпают сухим наполнителем. Жидкий сплав заливают в неподвижные формы. После заливки и начала вращения формы под действием центробежных сил из вертикального положения поворачиваются в горизонтальное.

Центробежная сила, действующая на жидкий сплав, способствует лучшему заполнению тонких сечений и уплотнению массивных частей отливки. Однако без применения специальных мер заполнение тонких сечений не всегда может быть обеспечено из-за того, что залитый в форму сплав может затвердевать в тонких сечениях до начала вращения.

Для лучшего заполнения тонких сечений в полости формы устанавливают металлические или стеклотканевые сетки с размером ячеек 0,3—0,5 мм. Сетка отделяет полость формы от заливочной чаши или воронки, объем которых должен быть больше объема отливки. При свободной заливке сплава в неподвижную форму весь сплав находится в чаше, так как металлостатический напор недостаточен для того, чтобы металл прошел через сетку. При вращении под действием центробежной силы напор возрастает, жидкий сплав проходит через сетку и под давлением заполняет форму.

Соответствующего эффекта можно достичь и при использовании стопорного устройства, открывающего доступ сплава в форму только после начала вращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье легких сплавов. М., «Металлургия», 1969, 680 с.
2. Анисимов Н. Ф., Благов Б. Н. Проектирование литых деталей. М., «Машиностроение», 1967, 272 с.
3. Бедель В. К., Тимофеев Г. И. Литье под низким давлением. М., «Машиностроение», 1968, 260 с.
4. Беккер М. Б. Литье под давлением. М., «Высшая школа», 1968, 205 с.
5. Белопухов А. К. Технологические режимы литья под давлением. М., «Машиностроение», 1967, 240 с.
6. Белопухов А. К. и др. Литье под давлением (Проблемы подпрессовки). М., «Машиностроение», 1971, 167 с.
7. Берг П. П. Качество литейной формы. М., «Машиностроение», 1971, 291 с.
8. Вышемирский М. М. Изготовление стержней. М.—Л., Машгиз, 1961, 74 с.
9. Дубинин Н. П. и др. Кокильное литье (справочное пособие). М., «Машиностроение», 1967, 460 с.

10. Жебин М. И. Ручное изготовление литейных форм. М., «Высшая школа», 1970, 279 с.
11. Зайцев М. М., Рябинина Р. М., Глотов Е. Б. Создание комплексно-механизированного цеха алюминиевого литья в кокиль на базе прогрессивной технологии. М., НИИМАШ, 1964, 48 с.
12. Кадников В. Г. Машинная формовка. М.—Л., Машгиз, 1961, 70 с.
13. Лебедев В. М., Мельников А. В., Николаенко В. В. Отливки из алюминиевых сплавов. М., «Машиностроение», 1970, 216 с.
14. Лебедев В. М., Мельников А. В., Постников Н. С. Фасонное литье алюминиевых сплавов. М., «Металлургия», 1972, 151 с.
15. Липницкий А. М. Формовка вручную. М.—Л., Машгиз, 1961, 72 с.
16. Небогатов Ю. Е., Тамаровский В. И. Специальные виды литья. М., «Машиностроение», 1965, 159 с.
17. Неверов Л. И., Белоусов Н. Н. Применение вакуума при литье под давлением и штамповке жидкого металла. ЛДНТП, 1963, 51 с.
18. Прогрессивная технология фасонного литья. Сб. под ред. П. П. Прудовского. Куйбышевское книжное издательство, 1967, 151 с.
19. Соснеико М. Н. Современные литейные формы. М., «Машиностроение», 1967, 287 с.
20. Цветное литье (Легкие сплавы). Под ред. И. Ф. Колобнева. М., «Машиностроение», 1966, 391 с.
21. Чурсин В. М., Бидуля П. Н. Технология цветного литья. М., «Металлургия», 1967, 252 с.
22. Шацких М. И. Формовочные и стержневые смеси. М.—Л., Машгиз, 1961, 80 с.
23. Шестопал В. М., Поляков Я. Г. Технология и оборудование литейного производства. М., ВИНТИ, 1966, 139 с.
24. Эскин Г. И., Слотин В. И., Кацман С. Ш. Точное литье деталей авиационных агрегатов из алюминиевых сплавов. М., «Машиностроение», 1967, 146 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Автоклав для кристаллизации под давлением 113, 138
- Акьюред—процесс 351, 376, 377
- Алюминий — Активность химическая 6
 - Взаимодействие с модификаторами 117—119
 - Вязкость 5
 - Коэффициент линейного расширения 6
 - — теплопроводности 6
 - Марки 8
 - Плотность в зависимости от температуры 5
 - Поверхностное натяжение 5
 - Растворимость в твердом магнии 186
 - Свойства механические 6
 - Состав химический 8
 - Температура кипения 5
 - — плавления 5
 - Теплоемкость удельная 6
- Алюминиевые сплавы — см. *Сплавы алюминиевые*
- Армирование отливок 355
- Аэраторы — Техническая характеристика 136

Б

- Баки закалочные 156, 172
- Бегуны — Техническая характеристика 135
- Бензин-растворитель 126
- Брак отливок из алюминиевых сплавов — Причины и меры предупреждения 145—151
 - из магниевых сплавов — Причины и меры предупреждения 263—270

В

- Вакуумирование сплавов 116
 - — форм 375, 376
- Ванны селитровые — Составы 172
- Венты 299, 338
- Вибратор пневматический — Техническая характеристика 139
- Включения неметаллические 112—116
 - флюсовые 269
 - шлаковые 263
- Водород — Растворимость в алюминии 7
 - — — в магниевых сплавах 187
- Содержание в алюминиевых сплавах после вакуумирования 116
- Возврат — Классификация 225, 226
- Вскип 265
- Выбивка отливок 139, 140

Г

- Газопроницаемость 124, 125, 128, 312
- Герметичность алюминиевых сплавов 75—77
 - — магниевых сплавов 206
- Головка метательная пескомета 326, 327
- Горячеломкость алюминиевых сплавов 76
- ГОСТ 5.302—69 182
- ГОСТ 443—56 144
- ГОСТ 482—67 144
- ГОСТ 804—72 86, 112, 182
- ГОСТ 849—70 88
- ГОСТ 859—66 87
- ГОСТ 879—52 126
- ГОСТ 982—68 143

ГОСТ 1467—67 88
 ГОСТ 1497—61 48
 ГОСТ 1498—64 126
 ГОСТ 1521—68 89
 ГОСТ 1842—52 126, 143
 ГОСТ 2138—56 251
 ГОСТ 2169—69 88
 ГОСТ 2263—71 126
 ГОСТ 2581—71 225
 ГОСТ 2629—44 126
 ГОСТ 2685—63 8, 9, 48, 49, 328, 350, 351
 ГОСТ 2768—69 144
 ГОСТ 2789—59 328, 338, 350, 393
 ГОСТ 2856—68 352
 ГОСТ 3116—51 143
 ГОСТ 3134—52 126
 ГОСТ 3212—57 290
 ГОСТ 3226—65 124
 ГОСТ 3552—63 126
 ГОСТ 3640—65 86
 ГОСТ 3956—54 143
 ГОСТ 4576—49 144
 ГОСТ 5245—50 126
 ГОСТ 5420—50 126, 395
 ГОСТ 5506—58 126
 ГОСТ 5639—65 383
 ГОСТ 5905—67 87
 ГОСТ 5936—73 144
 ГОСТ 6034—61 126
 ГОСТ 6265—52 144
 ГОСТ 8264—56 126
 ГОСТ 8295—57 126
 ГОСТ 9006—62 126
 ГОСТ 9572—68 144
 ГОСТ 10262—73 395
 ГОСТ 10779—69 126
 ГОСТ 11069—64 8, 112
 ГОСТ 13078—67 395
 ГОСТ 13507—68 126
 ГОСТ 14970—69 126
 ГОСТ 17299—71 126, 144
 Графит аморфный 126
 Грунтовка поверхности моделей 295
 Группы отливок 272, 273

Д

Давление прессования 360—362
 Декстрин 126, 305
 Дефектоскопия 143
 Дефекты отливок газовые 348, 359, 372
 — из алюминиевых сплавов — Причины и меры предупреждения 145—150
 — из магниевых сплавов — Причины и меры предупреждения 263—270
 — — поверхностные 312, 372, 373
 — — размерные 373
 — — усадочные 146, 311, 374
 Деформация литых колец в зависимости от термической обработки 170
 Диафрагмы прессующие 308
 Добавки легирующие 227
 Дозаторы — Техническая характеристика 374

Ж

Жакеты для сборки стержневых форм 313
 Жаропрочность алюминиевых сплавов 39—43, 45—46
 — — магниевых сплавов 202
 Жесткость отливок 332, 352
 — — удельная магниевых сплавов 176
 Живучесть стержневых смесей 309
 Жидкие самотвердеющие смеси — см. *Смеси жидкие самотвердеющие*
 Жидкотекучесть алюминиевых сплавов 72, 74, 76
 — — магниевых сплавов 181, 206
 Жидкое стекло — см. *Стекло жидкое*

З

Закалка 152, 153, 157—165, 277
 Заливка алюминиевых сплавов 186
 — — магниевых сплавов 261, 262
 Заплеск металла 264
 Засор отливок 269
 Защита магниевых отливок 279—281
 Зоны Гинье—Престона (ЗГП) 166—170

И

Индий 223
 Индукционные печи — см. *Печи индукционные*

К

Кадмий — Марки 88
 Камеры прессования — Расчет диаметра 361
 Каналы вентиляционные 359, 394
 Катализаторы 309
 Кислота борная 126, 251
 Клей — Составы 305
 Кокили — Освоение и эксплуатация 346—349
 — Регулирование теплового режима 338, 339
 Коллекторы — Расчет 259
 Контроль отливок из алюминиевых сплавов 141—143
 — — из магниевых сплавов 263
 Коробление 268, 269, 398
 Коромысла для выбивки форм — Характеристика 139
 Коэффициент диффузии 59
 — — линейного расширения алюминия 6
 — — — магния 178
 — — теплопроводности алюминия 6
 — — — магния 177

Краски для литниковых чаш 261
 --- для тиглей и ковшей — Составы 93, 94, 186
 --- для металлических форм — Составы 347, 348, 395
 --- литейные — Составы 304
 Кремний металлический — Марки 88

Л

Лигатуры для алюминиевых сплавов — Контроль качества 110 — Приготовление 105—109 — Составы 90
 --- для магниевых сплавов 224—225 — Приготовление 241
 Ликвация 76, 270, 399
 Ликоподий 126
 Литий — Марки 89
 Литниковые системы — см. Системы литниковые
 Литье в кокиль — Конструирование отливок 329—332
 --- Машины 341—346
 --- Оснастка 336—341
 --- Особенности 349, 350
 --- Расчет литниково-прибыльных систем 334
 --- Свойства сплавов 329
 --- Сплавы 328, 329
 Литье в песчаные формы — Изготовление стержней 300—310
 --- Изготовление форм 310—327
 --- Конструирование отливок 288—291
 --- Оснастка модельно-опочная 295—300
 --- Системы литниково-прибыльные 291—295
 Литье выжиманием — Дефекты отливок 397, 398
 --- Краски 395
 --- Машины 392, 393, 397
 --- Покрyтия теплоизоляционные 394
 --- Смеси формовочные и стержневые 396
 --- Формы 393, 394, 397
 Литье магниевых сплавов — Методы рекомендуемые 219—221
 Литье под давлением — Выбор технологических параметров 360—364
 --- Дефекты отливок 371—374
 --- Конструирование отливок 352—355
 --- Машины 365—371
 --- Расчет литниково-прибыльных систем 358, 359
 --- Режимы заполнения форм 357, 358
 Литье под низким давлением — Расчет протяженности 378, 379
 Литье центробежное — Дефекты отливок 400
 --- Свойства отливок 400
 --- Сила центробежная — Расчет 399
 --- Схемы технологические 400

М

Матний — Влияние на механические свойства сплавов 18, 27
 --- Коэффициент линейного расширения 178
 --- Теплопроводности 177
 --- Первичный в чушках 86, 182
 --- Растворимость в твердом алюминии 25
 --- Свойства физические 177
 --- химические 177, 178
 --- Электропроводности 178
 --- Электросопротивление удельное 178
 Марганец металлический — Марки 89
 Материалы вспомогательные — Назначение 126
 --- шихтовые 86—90, 223—232
 Машины для литья под давлением — Технические характеристики 368—371
 --- под низким давлением — Технические характеристики 384, 385
 Машины кокильные карусельные 346 — Технические характеристики 344
 --- однопозиционные 341—343
 --- стержневые — Технические характеристики 301
 Машины формовочные вибропрессовые 315, 317
 --- встраивающие с допрессовкой 322, 325
 --- с перекидным столом 319
 --- со штифтовым съемом 320
 --- прессовые 315
 Медь — Марки 87
 Медь природный 126
 Мельница шаровая — Техническая характеристика 132
 Металлы первичные в чушках 223, 224
 Механизмы встряхивания 317
 --- вытяжки 317
 --- поворота 317, 321
 Микрорыхлота 191, 192, 267
 Модели 295
 --- деревянные 296
 --- Извлечение из формы 315, 316
 --- металлические 296
 Модификаторы — Классификация 116, 119
 --- неметаллические 231
 Модифицирование алюминиевых сплавов 117—119
 --- магниевых сплавов 248, 249
 Мультипликаторы 376, 377

Н

Напор металлостатический — Расчет 334, 335
 Напряжения внутренние в отливках 169, 170
 Натр едкий 126
 Натриха стержней 305
 Натяжение поверхностное алюминия 5

--- магния 177
 Никель — Марки 88
 Нормы оснащения помещений средствами тушения 282, 283

О

Обвал формы 149
 Оболочковые стержни — см. Стержни оболочковые
 Обработка термическая — Виды и назначение 152, 271, 272
 --- Классификация режимов 154, 155
 --- алюминиевых сплавов — Оборудование 171, 172 — Режимы 157—165
 --- магниевых сплавов — Оборудование 276—278 — Режимы 273—275
 Обработка ультразвуком 115
 --- химико-термическая 153
 Образец для испытания на герметичность 77
 --- для определения внутренних напряжений 170
 --- механических свойств 48
 Огнеупорность смесей 124
 Окисление поверхностное 265
 Оксидирование 280
 Опки 299
 Оснастка быстросменная 296, 297
 --- кокильная 336, 337, 341
 --- модельно-опочная 295—300
 Отверстия литые — Глубина в зависимости от диаметра 353
 Отжиг 152, 153, 154
 Отливки магниевые повышенной прочности — Классы 194
 --- Предельные отклонения размеров 289, 330, 354
 --- Припуски на механическую обработку 290, 331, 355
 Отпуск 152, 153
 Очистка алюминиевых сплавов 112—116
 --- поверхности магниевых сплавов — Методы 279

П

Панели 393, 394
 Пасты для покрытий 95, 305
 Пески — Характеристика и назначение 125
 Пескометы 325—327
 Печи аэродинамического подогрева (ПАП) — 172, 276, 278
 Печи для плавки алюминиевых сплавов
 --- индукционные 102—104
 --- пламенные отражательные — Основные характеристики 94
 --- Применение и особенности 98
 --- сопротивления 97—101 — Футеровка 101, 102
 --- тигельные — Основные характеристики 96

Печи для плавки магниевых сплавов 236—240
 --- индукционные 240
 --- пламенные тигельные 236, 237
 --- отражательные 238
 --- сопротивления 238
 --- Технико-экономические показатели 240
 Печи для термической обработки алюминиевых сплавов — Основные характеристики 171
 --- магниевых сплавов — Основные характеристики 277
 Печи раздаточные 100, 236
 Пилы ленточные — Технические характеристики 140
 Питатели — Расчет 259, 260
 Пластичность смесей 124
 Плиты координатные 297
 --- толкателей 340
 Плотность алюминия 5
 --- магния 177
 --- относительная окисных пленок некоторых металлов 179
 Податливость смесей 124
 Подпрессовка сплава 352, 357, 376, 377
 Покрyтия защитные — Свойства 281
 Пористость алюминиевых сплавов 73, 75, 76
 Пресс для штамповки жидкого металла 388, 389
 Прибыли 295, 312, 336
 Пригар механический 381, 382
 Припуски на механическую обработку отливок 290, 331, 355
 Присадки 251
 --- ВМ 126, 250
 --- фтористая 250
 Пробки вентиляционные — Размеры 338
 Пробы для определения жидкотекучести 72, 74
 Промывники 360
 Пульвербакелит 132

Р

Разупрочненные алюминиевых сплавов 166—171
 Раковины газовые 266
 --- усадочные 72, 75, 267
 Рафинирование алюминиевых сплавов 110, 113—115
 --- магниевых сплавов 247, 248
 Режимы термической обработки 154, 155, 271, 272
 Резьбы литые — Диаметры минимальные 353
 Рыхлота 267

С

Связующие 305, 309
 --- Назначение 126
 Силумин цинковистый — Свойства механические 35

Системы литниковые вертикально-щелевые 292, 293
 --- верхние 292
 Системы литниковые для магниевых сплавов — Выбор 256 — Расчет 256—260
 --- комбинированные 293, 294, 313
 --- нижние 291
 --- Элементы 332 — Расчет 333 — Конструкции 336
 --- ярусные 292
 Сита — Модели и техническая характеристика 135
 Смеси для гипсовых форм — Состав 255
 --- соляные — Состав и температура плавления 123
 Смеси стержневые и формовочные — Приготовление 132—139
 --- Свойства технологические 124
 --- Требования при литье магниевых сплавов 250
 Смеси стержневые для алюминиевых сплавов — Свойства 131 — Состав 129, 130
 --- для магниевых сплавов — Свойства 254 — Состав 253, 254
 --- жидкие самотвердеющие 310
 --- жидкостекольные 308
 --- песчано-смоляные 131, 307
 --- противопригарные 382
 Смеси формовочные для алюминиевых сплавов — Состав и свойства 128
 --- для магниевых сплавов — Состав и свойства 252
 --- единые 124, 127
 --- наполнительные 124, 127
 --- облицовочные 124, 127
 --- оборотные 124
 Соли — Свойства физические 229, 230
 Составы разделительные 306
 Спай окисный 266
 Сплавы алюминиевые — Анализ микроскопический — Особенности 59
 --- высококремниевые 13—20
 --- высокопрочные 31—35
 --- жаропрочные 38—46
 --- Классификация 8
 --- Марки и химический состав 9, 10
 --- Области применения 80—85
 --- Свойства литейные 72—76
 --- механические 47—52 — В зависимости от толщины стенок отливок 77—80 — После обработки ультразвуком 115—
 При различных температурах 53—60
 --- физические 47
 --- системы Al—Mg 25
 --- Al — другие элементы 21—37
 --- сложных составов 38—43
 --- Стойкость коррозионная 29
 --- типа магний — Свойства 30
 Сплавы алюминиевые — Заливка в формы 186
 --- Материалы шихтовые 86—90
 --- Модифицирование 117—119

--- Обработка и переплавка отходов 121, 122
 --- Обработка термическая — Оборудование 171, 172 — Режимы 157—165
 --- Печи 93—104 — Пуск 104, 105
 --- Плавка 93—124
 --- Рафинирование 110, 113—115
 --- Технология приготовления 110—112
 --- Шихта — Загрузка 105 — Расчет 90—92
 Сплавы магниевые — Анализ металлографический — Особенности 213
 --- жаропрочные 202—204
 --- Классификация 182
 Сплавы магниевые — Марки и химический состав 183
 --- Области применения и особенности 216—218
 --- первичные 224, 226
 --- предварительные 224, 226 — Приготовление 242, 243
 --- промежуточные 226 — Приготовление 242, 243
 --- рабочее 226 — Приготовление 244—247
 --- Свойства механические 193, 207—209 — При различных температурах 210—212
 --- технологические 206
 --- физические 205
 --- системы Mg—Al 186
 --- Mg — другие элементы 187—202
 --- Стойкость коррозионная 206, 222
 Сплавы магниевые — Заливка в формы 261, 262
 --- Материалы шихтовые 223—232
 --- Модифицирование 248, 249
 --- Обработка термическая — Оборудование 276—278 — Режимы 273—275
 --- Переплавок стружки 249
 --- Печи 236—240
 --- Плавка 235—249
 --- Рафинирование 248
 --- Техника безопасности 282—285
 --- Шихта — Расчет 232—234
 Старение 152, 153—156
 Средства огнегасительные 284—285
 Стекло жидкое 126, 131, 395
 Стержни — Классификация 127
 --- металлические 340, 341
 --- оболочковые 306, 307
 --- песчано-глинистые — Изготовление 300—305 — Сушка 305
 Стойки — Расчет 257, 258 — Рекомендуемые сечения 258

Т

Тальк молотый 126
 Текучесть смесей 124, 310
 Температура возможного загорания магниевых изделий 283
 --- заливка сплава в форму 363
 --- кипения алюминия 5

--- магния 177
 --- нагрева формы при литье под давлением 364
 --- плавления алюминия 5
 --- магния 177
 Теплоемкость удельная алюминиевая 6
 --- магния 178
 Термическая обработка — см. Обработка термическая
 Техника безопасности при работе с магниевыми сплавами 282
 Тигли 93, 95, 236, 261
 --- для литья под низким давлением 380
 Точность отливок — Классы 288, 289
 Травители для шлифов из алюминиевых сплавов 61, 63
 --- из магниевых сплавов 214, 215
 Травление — Способы 62, 214, 215
 Трещины 75, 268, 398, 400

У

Угар элементов 90
 Ужимины 149
 Уклоны литейные 331, 352, 353
 --- формовочные 290
 Упрочнение алюминиевых сплавов 166—171
 Усадка 73, 76, 354
 Установки для литья под низким давлением 379, 385, 386
 --- с последовательно-направленной кристаллизацией 138
 --- заливочные МДН-6А — Техническая характеристика 139
 Установки стержневые — Технические характеристики 302
 Устройства вентиляционные 338

Ф

Фиксация частей кокиля 338
 Флюсы для алюминиевых сплавов — Состав и области применения 120
 --- для магниевых сплавов — Классификация 227, 228 — Свойства 227 — Состав 229
 --- покровные 232
 --- для плавки в выемных и стационарных тиглях 231
 --- для промывки ковшей 232
 Формовка — Нарушения при литье магниевых сплавов и способы их предупреждения 260
 --- машинная 315
 --- ручная 312
 Формовочные смеси — см. Смеси формовочные
 Формы гипсовые 255
 --- металлические для панелей 393, 394

--- для штамповки полужидкой 389, 391
 --- песчаные — Изготовление 310—327 — Разработка технологии 287, 288
 Футеровка печей сопротивления 101

Х

Химико-термическая обработка — см. Обработка химико-термическая
 Холодильники 312, 313
 Хром металлический — Марки 87

Ц

Центрифугирование 401
 Центробежное литье — см. Литье центробежное
 Церий — Растворимость в твердом магнии 203
 Цинк — Марки 86
 --- Растворимость в твердом магнии 195
 Цирконий — Влияние на свойства магния 197
 --- Назначение 203
 --- Растворимость в магнии 197

Ч

Чашн литниковые 138, 291, 332
 Чугун для изготовления кокилей — Состав 337

Ш

Шаблоны 312
 Шихта для алюминиевых сплавов — Расчет 90—92
 --- для магниевых сплавов — Расчет 232—234
 Шкала пористости сплава АЛ14 77
 Шлаковик 335
 Шлифы из алюминиевых сплавов — Подготовка 59
 --- из магниевых сплавов — Подготовка 213
 Штамповка полужидкая — Схема технологического процесса 388—391
 Штыри спаривающие 300

Э

- Электроды для термической обработки — Основные характеристики 171
- Электропроводность магния 178
- Электросопротивление удельное магния 178
- Элементы легирующие — Влияние на свойства магниевых сплавов 184
- для алюминиевых сплавов — Свойства 86, 89
- химические — Влияние на свойства сплавов типа силумин 16, 17

- Элементы литниковой системы — Расчет 294
- Эфиральдегидная фракция 126

Я

- Ящики стержневые деревянные 297
- для изготовления стержней по CO_2 -процессу 308
- для оболочковых стержней 306
- металлические 297, 298
- нагреваемые 309

**ИВАН ФИЛИППОВИЧ КОЛОБНЕВ
ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ КРЫМОВ
АНАТОЛИЙ ВИКТОРОВИЧ МЕЛЬНИКОВ**

СПРАВОЧНИК ЛИТЕЙЩИКА

Редактор издательства И. Н. Жесткова

Технический редактор А. М. Калтыгина

Корректор З. В. Снимцнкова

Сдано в набор 3/IX 1973 г. Подп. к печати 29/XII 1973 г.
Т-16000 Формат 84×108¹/₃₂ Бумага № 2
Усл. печ. л. 21,42 Уч.-изд. л. 20,5
Тираж 26000 экз. Заказ 510
Цена 1 р. 76 коп.

Издательство «Машиностроение»
107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3
Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, ул. Моисеенко, 10

