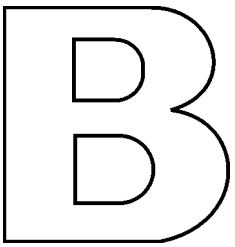


ДЛЯ ВУЗОВ

Е.А. Чернышов, А.И. Евстигнеев,
А.А. Евлампиев

ЛИТЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ. ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ. СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Допущено Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Технологические машины и оборудование" и по специальности "Машины и технологии литейного производства" направления подготовки дипломированных специалистов "Машиностроительные технологии и оборудование"

МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2008

УДК 621.74
ББК 34.61
Ч-49

Рецензенты:
Заслуженный деятель науки Российской Федерации, д-р техн. наук, зав. кафедрой «Литейное производство и технология металлов» Хабаровского государственного технического университета, профессор **Ри Хосен**;
Заслуженный деятель науки Российской Федерации, д-р техн. наук, директор института «Машиноведения и металлургии» ДВО РАН, профессор **Одиноков В.И.**

Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И., Евлампиев А.А.

Ч-49 Литейные дефекты. Причины образования. Способы предупреждения и исправления: Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2008. – 282 с.; ил.

ISBN 978-5-217-03413-0

Приведены основные сведения о качестве отливок и классификация дефектов, причины возникновения и способы предупреждения наиболее распространенных дефектов отливок, изготовляемых в разовых и многократно используемых формах. Кратко описаны способы выявления и исправления дефектов.

Пособие предназначено для студентов вузов машиностроительного и металлургического профилей при изучении специальных дисциплин, может быть использован в курсовом проектировании, при выполнении выпускной квалификационной работы, а также при подготовке к государственному экзамену для бакалавров, дипломированных специалистов и магистров. Может быть полезно инженерно-техническим работникам, занятым в литейном производстве.

УДК 621.74
ББК 34.61

ISBN 978-5-217-03413-0

© Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И., Евлампиев А.А., 2008
© Издательство «Машиностроение», 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КАЧЕСТВЕ ОТЛИВОК 8
1.1. Номенклатура показателей качества отливок 11
1.2. Классификационные показатели и показатели назначения 17
1.3. Оценка технологичности отливок и экономного использования металла 19
1.4. Показатели качества поверхности отливок 24
1.5. Экономические показатели 26
1.6. Виды продукции 28
1.7. Бездефектность отливок 32
Контрольные вопросы 36

Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ 37

Контрольные вопросы 82

Глава 3. ДЕФЕКТЫ ОТЛИВОК, ПОЛУЧАЕМЫХ СПЕЦИАЛЬНЫМИ СПОСОБАМИ ЛИТЬЯ 84
3.1. Литье в кокиль 84
3.2. Литье в облицованный кокиль 94
3.3. Литье под давлением 98
3.4. Литье под регулируемым газовым давлением . . . 106
3.5. Литье с кристаллизацией под давлением 114
3.6. Литье выжиманием 118
3.7. Центробежное литье 121
3.8. Литье по выплавляемым моделям 126
3.9. Литье в керамические формы по постоянным моделям 157
3.10. Литье в гипсовые формы 168
3.11. Литье в оболочковые формы 170
3.12. Изготовление отливок методом вакуумно-пленочной формовки 179
3.13. Литье по газифицируемым моделям 182
Контрольные вопросы 184

Глава 4. МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ОТЛИВКАХ 187
4.1. Виды контроля 187
4.2. Методы неразрушающего контроля 190
4.2.1. Визуально-оптический контроль 191
4.2.2. Контроль проникающими веществами 192
4.2.2.1. Капиллярная дефектоскопия 192
4.2.2.2. Контроль герметичности 194
4.2.3. Радиационные методы контроля 196
4.2.3.1. Рентгенодефектоскопия 199
4.2.3.2. Гамма-дефектоскопия 200
4.2.3.3. Бетатронная дефектоскопия 201
4.2.4. Магнитные методы контроля 202
4.2.5. Вихретоковый (электромагнитный) метод контроля 205
4.2.6. Акустический контроль 207
4.3. Контроль геометрических размеров и шероховатости поверхности отливок 210
Контрольные вопросы 213

Глава 5. ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК 215
5.1. Заварка отливок 215
5.1.1. Заварка отливок из стали 216
5.1.2. Заварка отливок из чугуна 219
5.1.3. Заварка отливок из цветных сплавов 226
5.2. Горячее изостатическое прессование 230
5.3. Пропитка отливок 232
5.4. Заделка дефектов эпоксидными замазками и мастиками 237
5.5. Декоративное исправление отливок 239
Контрольные вопросы 239

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 240

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 260

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 280

ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества отливок, снижение брака и дефектов – главная задача литейного производства.

Основными причинами возникновения дефектов отливок являются: нетехнологичность конструкции детали, несовершенство и нарушение технологического процесса, а также недоброкачественность используемых материалов. Дефекты из-за нетехнологичности конструкции детали возникают в тех случаях, когда деталь спроектирована без учета возможностей литейной технологии.

Не меньшее значение для снижения уровня дефектов имеет и правильно спроектированный технологический процесс: расположение отливки в форме при заливке, конструкция и тип литниково-питающей системы, место подвода металла, обеспечение условий направленного затвердевания и др.

Качественное проектирование конструкции детали и технологического процесса является начальным и в то же время наиболее ответственным этапом борьбы с дефектами и браком. На этом этапе закладываются и такие важные показатели качества отливки, как механические и служебные свойства металла, размерная и массовая точность отливок, металлоемкость изделия, коэффициент использования металла и др., формируется до 85 % общих затрат на изделие. Именно поэтому на этапе проектирования необходимо тесное сотрудничество конструктора, разрабатывающего деталь, и технолога-литейщика. Специалист-технолог, тщательно проанализировав чертеж литой детали, может посоветовать, как изменить ее конструкцию, какой технологический процесс и способ литья использовать для того, чтобы избежать образования дефектов и повысить технологичность детали.

Дефекты, вызванные нарушением технологии, могут быть следствием отступления от режимов на любой технологической операции: подготовке материалов, формовке, плавке, заливке, охлаждении отливки в форме, выбивке отливок, термической обработке и т.д. Дефектность и брак отливок неизбежно возрастают

при неудовлетворительном состоянии технологического оборудования и оснастки, а также вследствие небрежной работы.

Дефекты из-за несовершенства технологического процесса встречаются наиболее часто. Перед запуском каждой новой отливки в производство технология ее изготовления должна быть выбрана на основе научных принципов, а затем опробована на опытных отливках. **Пробные отливки** необходимо всесторонне исследовать по геометрическим размерам, наличию внутренних дефектов, соответствию механических и служебных свойств. После доработки технологического процесса должна быть достигнута полная уверенность в том, что он надежно обеспечивает получение годных отливок и что каждый случай брака является следствием нарушения технологии. Причины этих нарушений должны быть полностью выявлены и устранены.

Однако даже оптимально разработанная технология и ее безупречное выполнение не могут гарантировать получение качественной отливки без налаженного контроля как поступающих в литейный цех основных и вспомогательных материалов (шихты, формовочных песков, связующих, противопригарных покрытий и др.), так и готовых отливок.

При подготовке настоящего пособия авторы ставили цель обобщить и систематизировать литературные данные по классификации дефектов отливок, получаемых в традиционных песчаных формах и специальными способами литья, познакомить студентов с общими сведениями о качестве отливок, способах выявления и исправления дефектов. Механизм образования дефектов при этом не рассматривали, перечислены лишь причины их возникновения и меры по предупреждению, изложены основные способы исправления дефектных отливок. Для наглядности приведены схемы дефектов и внешний вид отливок с наиболее характерными дефектами.

Основные термины и определения, рекомендуемые для использования в области технологической оснастки и процессов литейного производства, приведены в Приложении 2, стандартные термины и определения дефектов – в главе 2.

Термины, установленные стандартом, обязательны для применения в документации всех видов, а также научно-технической, учебной и справочной литературе. Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин. Недопустимые к применению термины-синонимы приведены в качестве справочных и обозначены "ндп".

Настоящее пособие не претендует на полное освещение затронутых вопросов. Вместе с тем авторы выражают надежду, что пособие будет полезно как студентам, так и широкому кругу специалистов литейного производства.

Авторы будут признательны за все замечания и пожелания, которые могут быть направлены по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. К. Минина, д. 24, НГТУ, кафедра ТАЭП.

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КАЧЕСТВЕ ОТЛИВОК

Доля литых заготовок в различных машинах и конструкциях велика как по номенклатуре, так и по массе, поэтому качество продукции машиностроительного предприятия в значительной степени определяется качеством отливок. В повышении качества отливок ведущая роль принадлежит контролю, с помощью которого устраняется опасность попадания дефектных отливок на операции механической обработки и сборки, а также создаются условия для критического анализа и совершенствования технологии литейного производства.

В соответствии с ГОСТ 15467–79 ***качество продукции*** – это совокупность свойств продукции, обусловливающих ее способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.

Это определение является общим и вполне приемлемо для отливок. Из него следует, что качество отливок включает не все их свойства, а только те, которые связаны с возможностью удовлетворения отливками определенных потребностей. Качество отливок охватывает конструктивные и технологические свойства, обусловливающие различную трудоемкость производства отливок и эффективность их потребления, а также включает коэффициент использования металла, длину графитовых включений, неравномерность твердости по длине направляющих и др.

Наряду с качеством отливки должны обладать необходимой надежностью. ***Надежность*** – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

В зависимости от назначения изделия и условий его эксплуатации в это понятие могут входить безотказность, долговечность,

ремонтопригодность и сохраняемость. Таким образом, показатели надежности определяют реальную эффективность эксплуатации изделий. Надежность и качество – два дополняющих друг друга понятия. Как нельзя обеспечить высокую надежность изделий без их соответствующего качества, так, в свою очередь, без учета надежности показатели качества изделия теряют свой смысл [1].

Для количественной оценки свойств отливок, характеризующих их качество, используют различные показатели. Например, качество отливок может определяться уровнем дефектности, размерной и массовой точностью, чистотой поверхности, механическими свойствами и др.

Показатель качества отливок количественно характеризует степень их пригодности удовлетворять определенные потребности. Номенклатура показателей качества зависит от назначения отливок. Показатель качества отливок может выражаться в различных единицах, например, в тоннах, миллиметрах, баллах и др. При рассмотрении показателей качества отливок следует различать:

– их наименование (например, коэффициент использования металла);

– формулировки (определения), содержащие указания о способе экспериментального или расчетного определения их значений (например, отношение массы литой детали к массе отливки, из которой изготовлена деталь);

– численные значения показателей, которые могут изменяться в зависимости от различных условий.

В соответствии с ГОСТ 15467–79 показатели качества отливок могут быть единичными, комплексными, определяющими и интегральными.

Единичный показатель качества отливки характеризует одно из ее свойств.

Пример единичного показателя качества отливок – предел прочности на растяжение. За этот показатель принимают одно свойство отливок – прочность на растяжение.

Пример единичного показателя качества отливок литейного цеха за год – среднее значение уровня внешнего брака всех отли-

вок. Этот показатель характеризует одно свойство отливок – их бездефектность.

Комплексный показатель включает несколько свойств отливки. К комплексным показателям качества отливок можно отнести коэффициент использования металла, отражающий суммарное влияние точности геометрической формы отливок (по размерам и величине припусков) на их металлоемкость.

Определяющий показатель качества отливки – это показатель, по которому принимают решение для оценки ее качества.

Интегральным показателем качества (И) является отношение суммарного полезного эффекта от потребления или эксплуатации отливок к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление:

$$И = Э/(З_с + З_э),$$

где $Э$ – суммарный экономический эффект в сфере механической обработки и при дальнейшем потреблении отливок; $З_с$ и $З_э$ – суммарные затраты соответственно на создание (производство) и эксплуатацию (потребление) отливок.

Для сравнительной оценки качества отливок используют *базовые показатели качества*. В качестве базовых можно принимать: показатели качества лучших образцов отливок, производимых в стране и за рубежом; показатели качества, достигнутые в некотором предыдущем периоде времени, или показатели перспективных образцов, найденные опытным или теоретическим путем. Базовыми можно также считать такие показатели качества, которые заданы в требованиях на отливки (в стандартах, ТУ и др.). Базовые показатели качества отливок также могут быть единичными, комплексными и интегральными.

При сравнении показателей качества отливок с базовыми следует пользоваться *относительными показателями*, т.е. отношениями показателей качества к базовым показателям. Уровень качества отливок определяется на основе совокупности относительных показателей качества.

Эффективность контроля качества отливок обеспечивается при условии, что количество и численные значения нормативных показателей качества, установленные требованиями (в чертежах или технических условиях, в стандартах или договорах на поставку отливок и т.д.), заданы правильно, т.е. их соблюдение гарантирует необходимый уровень качества отливок.

Формирование качества отливок обусловливается многими технологическими, экономическими и организационными факторами, отражающими общий технический уровень производства. В литейных цехах применяют сложный технологический процесс, связанный с использованием большой номенклатуры материалов. В таких условиях производство высококачественных отливок может быть достигнуто только на основе строгого соблюдения соответствующих стандартов на всех этапах технологического цикла. При этом на качество отливок влияют следующие факторы:

– качество исходных, формовочных, шихтовых и вспомогательных материалов;

– уровень механизации и автоматизации технологического процесса;

– соблюдение технологического процесса на всех стадиях производства;

– организация производства и хозяйственный механизм управления литейным цехом.

Естественно, что для выполнения этих требований необходимо осуществление в литейном цехе ряда организационно-технических мероприятий, направленных на повышение культуры и технического уровня производства. Только комплексный подход с учетом организационно-технических, технологических и социально-экономических факторов является основой необходимого качества отливок [4].

1.1. НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

В процессе управления качеством отливок [4] измерение и оценка уровня качества занимают одно из центральных мест. Без

измерения не может быть эффективного управления. Принятие управляющих решений возможно лишь на основе наблюдений за изменением уровня качества. Необходимость в измерении показателей качества отливок возникает, в частности, при решении таких задач, как прогнозирование, планирование технического уровня литейного производства; учет уровня качества отливок для совершенствования оптовых цен; аттестация качества отливок; выбор оптимального варианта технологического процесса; разработка нормативно-технической документации (ГОСТов, ОСТов, ТУ и др.) на отливки; контроль и надзор за качеством отливок; материальное и моральное поощрение работников за повышение качества отливок; изучение динамики качества отливок во времени; отчетность и информация по качеству отливок.

Показатели качества отливок, как и более общая категория – статические показатели, выполняют ряд функций: познавательную, контрольно-организаторскую, идеологическую, стимулирующую.

Познавательная функция заключается в том, что подсчитанные показатели качества, характеризующие состояние и динамику качества отливок, закладываются в основу определения тенденций, разработки планов технического прогресса. Выполняя контрольно-организаторскую функцию, показатели качества выступают как важнейший элемент системы управления, фактор достижения цели и эффективного функционирования литейного производства в целом.

Показатели качества дают информацию о фактических итогах работы литейного производства за прошедший период. На основе такой информации соответствующие органы управления принимают решения, выражаемые в плановых показателях. После принятия решения – утверждения плана – организуют его выполнение. В ходе реализации плана в новых показателях обобщают текущую информацию о его выполнении. При контроле выполнения принятых решений и заданий показатели качества осуществляют роль обратных связей в механизме управления качеством отливок.

Показатели качества продукции выполняют еще стимулирующую функцию, в соответствии с которой формируются соот-

ветствующие оценочные или критериальные показатели, строятся системы стимулирования повышения качества отливок.

Номенклатура показателей, применяемых при оценке качества отливок, приведена в табл. 1.1.

В настоящее время еще используют показатели, которые не стимулируют повышения качества отливок. Например, применение показателей массы отливок ведет к нерациональным издержкам ресурсов при снятии с заготовок излишнего металла, транспортировке стружки и переплавке ее. Литейщики, заинтересованные в наибольшем выпуске отливок по массе, во многих случаях изготовляют отливки с чрезмерным запасом прочности, повышенными припусками, более простой конфигурацией.

В результате повышения массы отливок миллионы тонн металла уходят в отходы, главным образом, в стружку. Погоня за тоннажем в литейном производстве препятствует внедрению прогрессивных способов точного литья, почти не требующих последующей обработки резанием. Таким образом, вследствие применения показателя массы отливок народное хозяйство терпит значительные убытки, не считая того, что по этой причине отвлекаются большие капиталовложения для расширения металлургической базы, тормозится рост промышленного потенциала страны.

Номенклатуру единичных показателей качества отливок устанавливают в зависимости от назначения и условий эксплуатации литых деталей.

1.1. Номенклатура показателей качества отливок

Показатель качества	Обозначение	Характеризуемое свойство
Классификационные показатели		
Марка сплава	МС	–
Класс точности	КТ	–
Группа сложности	ГС	–
Масса отливки, кг	М	–
Габаритные размеры, мм	Г	–

Продолжение табл. 1.1

Показатель качества	Обозначение	Характеризуемое свойство
Показатели назначения		
Временное сопротивление, МПа (кгс/мм^2)	$\sigma_в$	Прочность
Предел текучести, МПа	$\sigma_т$	То же
Относительное удлинение, %	δ	Пластичность
Относительное сужение, %	ψ	То же
Ударная вязкость, кДж/м^2	КС	Сопротивление разрушению при ударе
Верхний предел твердости, НВ	$Т_в$	Обрабатываемость, износостойкость
Нижний предел твердости, НВ	$Т_н$	Обрабатываемость, износостойкость, стойкость против механических повреждений поверхности
Неравномерность твердости	$\Delta_{нв}$	Равномерность износа
Микроструктура	МКР	Эксплутационные и механические свойства
Показатели экономного использования металла и технологичности		
Припуски на обработку резанием, мм	П	Трудоемкость при обработке резанием
Допуски размеров отливки, мм	ДР	Размерная точность
Толщина необрабатываемых стенок и ребер, мм	ТС	Металлоемкость
Допуски по толщине необрабатываемых стенок и ребер, мм	ДТ	Размерная точность

Продолжение табл. 1.1

Показатель качества	Обозначение	Характеризуемое свойство
Смещение от плоскостности поверхности на длине 600 мм	СП	То же
Допуски массы отливки, %	ДМ	Точность по массе
Показатели качества поверхности		
Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789–73, мкм	Ш	Внешний вид
Экономические показатели		
Экономический эффект, руб.	Э	Экономия при изготовлении и потреблении отливок

В эту номенклатуру дополнительно могут быть внесены и другие показатели, обычно относящиеся к специальным эксплуатационным характеристикам: ударная вязкость при пониженных температурах, стабильность геометрических размеров во времени, склонность к трещинообразованию, герметичность и др. Изложенное не означает, что все приведенные показатели в обязательном порядке должны использоваться для оценки качества каждой отливки, так как номенклатура показателей качества в значительной степени зависит от назначения и связанных с ним требований, предъявляемых к отливкам.

Целью обеспечения высоких показателей качества отливок является максимальное снижение затрат как живого (трудоемкости), так и овеществленного (материалоемкости, фондоемкости) труда на разработку, технологическую подготовку производства, изготовление, эксплуатацию и ремонт изделий, в состав которых входят литые детали.

Оптимальные показатели качества отливок достигаются при подготовке производства за счет рационализации отдельных элементов литых деталей (толщин стенок, переходов и углов сопря-

жения, ребер жесткости, втулок, фланцев, бобышек, элементов с армирующими вставками, отверстий, приливов и цапф для транспортирования отливок), выбора марки сплава, расчета на прочность, жесткость, износостойкость и др.

В процессе технологической подготовки производства оптимальные показатели качества отливок достигают путем типизации технологических процессов, рационализации конструкции элементов литейных форм и отливок (разъемов модели и формы, положения отливки при заливке, припусков на механическую обработку, формовочных уклонов, технологических припусков, количества и конструкции стержней, их знаков, фиксаторов, перемычек, разделительных диафрагм, отъемных частей модели, элементов литниковой системы, холодильников, усадочных ребер, стяжек, проб для механических и других испытаний, технологических приливов, жеребеек, крючков, газоотводных наколов, шпилек, облицовочного слоя в форме и др.), совершенствования литейной оснастки, а также систематического контроля фактических значений единичных показателей качества.

В зависимости от применяемого способа получения информации различают следующие **методы определения значений показателей качества**: измерительный, расчетный, регистрационный, органолептический, комбинированный.

Измерительный метод базируется на информации, получаемой с помощью технических измерительных приборов, например, определение массы отливок, твердости, прочности и т.п.

Расчетный использует теоретические или эмпирические зависимости между отдельными показателями качества отливок. Он применяется при исчислении износостойкости, удельной металлоемкости и др.

Регистрационный метод основан на информации, получаемой путем регистрации и подсчета числа определенных событий, например, числа дефектных отливок в партии.

Органолептический метод основан на определении значений показателей качества отливок с помощью органов чувств. Он широко используется в машиностроении при визуальном контроле

качества отливок, например, при оценке качества необрабатываемой поверхности, грунтования, ряда дефектов.

Комбинированный метод предусматривает определение значений показателей качества отливок несколькими перечисленными методами.

Кроме того, различают следующие способы определения значений показателей качества: испытание, экспертный, смешанный.

Анализ государственных и отраслевых стандартов, а также других нормативно-технических документов (НТД) на отливки показывает, что в настоящее время стройной системы нормирования показателей качества отливок в целом не существует. В различных НТД по-разному выстроены структура, состав и значение показателей: в одних приведены количественные методы их определения, в других – только качественные. Отсутствуют единые организационные и методические принципы построения, нет научного обоснования всей номенклатуры и определения оптимальных значений показателей качества, а также единых правил установления их в технической документации.

Для решения этой проблемы требуется проведение фундаментальных исследований и обоснований, разработка комплекса НТД на систему показателей качества отливок.

При разработке НТД необходимо учитывать взаимосвязь свойств отливок со свойствами конечной продукции – деталей станков и машин. Нормативно-технические документы на отливки должны содержать лишь те показатели качества литых деталей, которые может обеспечить литейное производство.

1.2. КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ПОКАЗАТЕЛИ НАЗНАЧЕНИЯ

Классификационные показатели и показатели назначения характеризуют полезный эффект от использования отливок по назначению, обусловливают область их применения и играют обычно основную роль при оценке уровня качества. Результат оценки зависит от правильности выбора номенклатуры показателей на-

значения, а также от обоснованности и точности методов определения их численных значений. Показатели назначения часто являются основой для оптимизации процесса управления качеством отливок и технологических процессов. Они отражают конструктивные особенности отливки и литой детали, комплекс служебных и физико-механических свойств металла, обрабатываемость и износостойкость детали и входят в число обязательных приемочных показателей, являются основными при оценке технического уровня и качества отливок и литых деталей (см. табл. 1.1).

Обрабатываемость отливки характеризуется допустимыми и фактическими отклонениями от номинального значения основных технических характеристик металла на участках отливки, подлежащих обработке резанием (твердость, временное сопротивление разрушению и т.п.), и другими показателями.

Обрабатываемость серого чугуна, например, связана с его твердостью обратной зависимостью. Обрабатываемость оценивается стойкостью режущего инструмента, допустимыми скоростями резания, шероховатостью обрабатываемой поверхности и т.д. Скорость резания зависит от режима обработки и твердости чугуна (условно принято, что $V_{эк}$ = 1,0 при 140 НВ):

НВ	140	160	180	200
$V_{эк}$	1,0	0,8	0,65	0,55

К показателям назначения можно отнести:

– химический состав (содержание основных химических элементов по ГОСТу);

– герметичность (давление при гидравлических, пневматических и других испытаниях, указанное в технической документации);

– специальные свойства (жаропрочность, кислотоупорность и другие свойства, определенные заказчиком).

Для отливок с литыми каналами предусматривают показатели, характеризующие чистоту каналов, их проходимость и др.

Номенклатура показателей назначения уточняется, а их номинальные численные значения и (или) предельно допустимые значения (отклонения от номинала), однородность или нестабильность (разброс), а также методы контроля указанных величин определяются стандартами или техническими условиями на поставку отливок заказчику (потребителю).

1.3. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ОТЛИВОК И ЭКОНОМНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛА

Сокращение металлоемкости и трудоемкости изготовления любого изделия в значительной степени зависит от снижения массы и уменьшения трудоемкости изготовления литых деталей. В этой связи особое значение приобретает работа над повышением технологичности конструкции литых деталей, которая способствует снижению трудоемкости изготовления, уменьшению расхода металла и получению высококачественных отливок.

Обеспечение технологичности конструкций литых деталей, изготовляемых различными методами литья с учетом вида производства, является задачей многоплановой, затрагивающей современные технологические основы производства практически на всех стадиях технологического процесса: изготовления оснастки, приготовления смеси, плавки, формовки, заливки, выбивки, очистки, обрубки.

Совершенствование отработки конструкции на технологичность в литейном производстве требует определения состава работ и последовательности отработки на технологичность, оценки технологичности с учетом области применения отливок. Оценка технологичности составляет основу метода сравнения конструктивных решений и обоснованного выбора оптимального варианта конструкций и технологии изготовления отливки. При этом важное значение приобретают вопросы выбора объективных показателей технологичности отливок.

Показатели технологичности характеризуют эффективность конструктивно-технологических решений для обеспечения высо-

кой производительности труда при изготовлении отливок и их потреблении. Перечень показателей технологичности приведен в табл. 1.1. Они характеризуют: удельную металлоемкость литой детали, коэффициент использования металла, точность геометрической формы отливки, обрабатываемость отливки, удельную трудоемкость. К показателям технологичности близко примыкает уровень бездефектности отливок (доля отливок за вычетом внешнего брака).

Удельную металлоемкость литых деталей определяют в целях соблюдения допустимых условий сопоставимости показателя для деталей, входящих в одну классификационную группу (одного назначения).

Для литых деталей, относящихся к одной группе, удельную металлоемкость определяют по формуле

$$q = Q_{\text{д}} / (N_{\text{и}}^{\alpha} \, N_{\text{пр}}), \qquad (1.1)$$

где q – удельная металлоемкость литой детали; $Q_{\text{д}}$ – масса обработанной литой детали, кг; $N_{\text{и}}$ – численное значение основного технического параметра изделия, используемого при определении его удельной материалоемкости (мощность привода, жесткость, точность, производительность изделия и др.); α – показатель степени, определяемый в зависимости от выбранного технического параметра и типоразмерного ряда деталей; $N_{\text{пр}} = (2L + B + H)/3$ – приведенный габарит детали, м; L, B, H – габаритные размеры литой детали; соответственно длина, ширина, высота.

При соответствующем обосновании приведенный габарит детали можно определять по другим формулам, например:

$$N_{\text{пр}} = \sqrt[3]{LBH} \, .$$

Введение в формулу (1.1) коэффициента $N_{\text{пр}}$ (приведенного размера литой детали) необходимо для сравнения удельных металлоемкостей литых деталей хотя и одного функционального назначения, но имеющих разные габаритные размеры, лежащие в

пределах, допускаемых параметрическим рядом (частью ряда) отливок, например, удельной металлоемкости отливок станин универсальных токарно-винторезных станков из серого чугуна длиной 2000…4000 мм с показателями назначения, заданными стандартами или ТУ, по которым осуществляют изготовление отливок:

Предел прочности при растяжении, МПа ……..	210
Твердость НВ на трущихся поверхностях …….	170…240
Длина графитовых включений, мкм ……..	10…350
Площадь, занятая перлитом, % ……..	98

и с допустимыми отклонениями указанных значений показателей назначения, не превышающими 15 % от заданного диапазона их изменения. При прочих равных условиях удельная металлоемкость литой детали характеризует совершенство литой детали по критерию металлоемкости.

Коэффициент использования металла характеризует степень приближения массы отливки к массе готовой детали и определяется формулой

$$\text{КИМ} = Q_{\text{д}}/Q_{\text{отл}}\,, \qquad (1.2)$$

где $Q_{\text{д}}$ – масса литой детали после обработки, кг; $Q_{\text{отл}}$ – масса отливки до обработки резанием, кг.

Коэффициент использования металла (1.2) отражает суммарное влияние точности геометрической формы отливки (по размерам и величине припусков) на ее металлоемкость. При поставке заказчикам механически обработанных отливок дополнительно рассчитывают аналогичный коэффициент использования металла литой заготовки на заводе-изготовителе.

Точность геометрической формы отливки (с учетом приближения ее к оптимальной форме детали) определяется величиной припусков на механическую обработку, отклонениями по разме-

рам и массе отливок от оптимальных величин, и при прочих равных условиях характеризует прогрессивность технологического процесса изготовления отливки в отношении объема механической обработки и металлоемкости отливки. Стабильность размеров отливки обеспечивает возможность ее обработки на станках с числовым программным управлением, автоматических линиях и др.

Допустимые отклонения по размерам и массе, а также припуски на механическую обработку отливок определяются стандартами или техническими условиями на поставку, фактические отклонения – по данным ОТК. При оценке точности геометрической формы отливки по размерам и припускам определяют следующие показатели (заданные, фактические):

– поле допуска и (или) отклонения по габаритным размерам отливки (по длине, ширине и высоте или диаметру);

– поле допуска и (или) отклонения по наиболее характерным толщинам стенок и ребер;

– припуски на основные размеры, подлежащие обработке резанием (верх, низ, бок, отверстия);

– отклонения по массе отливок.

Для соблюдения технологичности литых деталей к ним предъявляют ряд требований по толщине стенок и ребер: внутренние стенки детали должны быть тоньше внешних примерно на 20 %, достаточно прочными, т.е. не должны разрушаться от ударов при очистке и обрубке отливок; толщины ребер и внутренних стенок чугунной отливки должны составлять 0,6…0,8 толщины главной стенки; толщины стенок должны обеспечивать хорошее заполнение формы жидким металлом и др.

Значительным резервом экономии металла в литейном производстве является уменьшение необоснованных толщин стенок отливок и установление их рациональных размеров в зависимости от массы заготовок. Анализ толщины стенок чугунных заготовок (табл. 1.2), применяемых в станкостроении, показывает наличие значительных резервов экономии металла. Таким образом, совершенствование методов оценки толщины стенок отливок на различных этапах их создания имеет важное значение.

1.2. Размеры стенок отливок из чугуна

Масса отливки, кг	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Толщина стенки, мм		Характерные детали
		наиболее часто встречающаяся в конструкциях	Рекомендуемая	
До 5	До 300	10; 12; 15	7	Крышки, вилки, рычаги, секторы, корпусы фильтров
6...10	500	10; 12; 15; 20	8	Крышки, дверцы, корпусы, кронштейны
11...60	750	10; 15; 20	10	Крышки, корпусы, под-моторные плиты, фартуки, кронштейны, стойки, люнеты
61... 100	1250	15; 20; 25	12	Корпусы, стойки, ножки, бабки, кронштейны, фартуки
101.. 500	1750	20; 25… 30	15	Кареты, траверсы, каретки, корпусы, стойки, шкивы, ножки, бабки
501... 800	2500	20; 25	16	Стойки, корпусы, станины, каретки, бабки
801... 1200	3000	20; 25; 30	18	Стойки, колонки, корпусы, станины, каретки
1201... 2000	4000	20; 25; 30	20	Станины, бабки, траверсы, корпусы
Более 2000	5200	20; 25; 30	25	Станины, основания, траверсы, корпусы

Толщину необработанных стенок отливок оценивают на основе сопоставления четырех величин:

1) конструктивно необходимой толщины стенки $S_{кон}$ (определяется разработчиком литой детали);

2) минимально допустимой толщиной стенки S_{min} (определяется технологическими особенностями литейного производства);

3) номинальной толщины стенки $S_{ном}$ (указывается конструктором на чертеже литой детали);

4) допустимым отклонением фактической толщины стенки $S_{факт}$ от номинальной $S_{ном}$.

Удельная трудоемкость изготовления отливки характеризует трудовые затраты и определяется по формуле

$$t_{уд} = t_{шт}/Q_{отл}, \qquad (1.3)$$

где $t_{уд}$ – удельная трудоемкость изготовления отливки, нормо-ч/т; $t_{шт}$ – норма штучного времени, нормо-ч; $Q_{отл}$ – масса отливки, т.

При прочих равных (сопоставимых) условиях, чем ниже удельная трудоемкость изготовления отливки (1.3), тем технологичнее ее конструкция и совершеннее технологический процесс.

1.4. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК

К показателям качества поверхности относятся показатели качества механически необрабатываемых поверхностей и формы отливки, влияющие на товарный вид изделия:

– высота (глубина) отдельных неровностей поверхности (наростов, ужимин, выломов, утяжин, уступов и др.);

– степень очищенности поверхности, не подлежащей механической обработке от пригара, остатков формовочной и стержневой смесей, краски, ржавчины и прочих поверхностных включений, определяемая как отношение поверхности без указанных включений ко всей поверхности;

– шероховатость поверхности по ГОСТ 2789–73;

– четкость контуров платиков, окон, бобышек и др. (оценивается визуально).

1.3. Пример оценки качества защитного покрытия (грунтования) отливок

Показатель	Оценка		
	Отлично (5)	Хорошо (4)	Удовлетворительно (3)
Внешний вид загрунтованной поверхности	Отсутствуют неокрашенные места, пузыри, признаки расслоения и шелушения грунта		
Качество нанесения грунта на наружные поверхности	Отсутствуют подтеки, морщины и скопления грунта		
То же, на внутренние поверхности (карманы, резервуары и т.п.)	Отсутствуют подтеки и скопления грунта	Небольшие подтеки и скопления грунта	Местные подтеки и скопления грунта, допустимые ТУ или стандартом
Толщина слоя грунта, мкм	15…25	20…25	20…30
Высыхание пленки грунта	В соответствии с ТУ или стандартом		
Адгезия грунта к поверхности отливки	В соответствии с ТУ или стандартом		

Степень очищенности и шероховатость поверхности влияют на долговечность защитного покрытия, на показатели технологичности (обрабатываемость, трудоемкость изготовления) отливок, а также технологические показатели.

К показателям качества защитного покрытия (грунтования) относятся: внешний вид загрунтованной поверхности (определяется визуально); качество нанесения грунта на наружные поверхности (определяется визуально); то же, на внутренние поверхности (карманы, резервуары и др.); толщина слоя грунта; высыхание пленки грунта; адгезия грунта к поверхности отливки.

Требования к показателям качества защитного покрытия и методам контроля и оценки определяются стандартами и техническими условиями на поставку литых заготовок. При этом целесообразно иметь согласованную с потребителем (заказчиком) таблицу балльной оценки качества защитного покрытия (грунтования), примером которой может служить табл. 1.3. Неудовлетворительные оценки (0 баллов) соответствуют значениям показателей, не отвечающих требованиям стандартов или технических условий.

1.5. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Экономические показатели отражают затраты на разработку, изготовление и потребление отливок, а также экономическую эффективность их использования. При помощи экономических показателей оценивают технологичность, надежность, конструируют интегральные показатели качества, определяют экономически целесообразную границу повышения технического уровня и качества отливок. К ним относятся: полная и цеховая себестоимость отливок; экономический эффект от повышения уровня качества отливок; оптовая цена отливок.

Полная и цеховая себестоимости отливок включают показатели, учитываемые при внутризаводской оценке качества отливок, когда механический цех выступает в роли потребителя отливок, изготовленных литейным цехом. Себестоимость отливок учитывается также при оценке эффективности комплексной системы управления качеством продукции (КС УКП) в целом.

Народно-хозяйственный эффект определяют суммированием экономии затрат, получаемой на трех основных стадиях:

1) изготовлении и первичной обработке отливок;

2) изготовленной литой детали из отливки;

3) эксплуатации литой детали в станках, машинах, оборудовании.

Хозяйственный эффект $Э_х$ определяют в расчете на одну отливку по формуле:

$$Э_х = Э_{из} + Э_{ид} + Э_{эд},$$

где $Э_{из}$, $Э_{ид}$, $Э_{эд}$ – экономический эффект, получаемый на стадиях соответственно изготовления отливки (литая заготовка); изготовления литой детали из отливки, потребления (эксплуатации) литой детали в станке.

При механической обработке отливок, сборке и отделке внешних поверхностей литых деталей на экономию затрат оказывают влияние практически все показатели качества отливок. Например, трудоемкость и машиноемкость обработки отливок резанием зависят от показателей твердости, стабильности размеров, значений припусков. Показатель твердости металла отливок оказывает влияние на износ режущего инструмента, а от значений припусков зависит выбор металлорежущего оборудования с различной производительностью и стоимостью одного машино-часа его работы.

Другая группа показателей – степень очищенности, шероховатость, величина неровностей поверхности – влияет на качество отделки внешних поверхностей изделий и на расход вспомогательных материалов (красок, покрытий и др.)

Состав показателей и методы расчета экономического эффекта, получаемого на стадии эксплуатации литых деталей (в станках и машинах), могут быть различными и зависят от улучшения тех или иных показателей: прочности, износостойкости и др. В каждом конкретном случае следует выбирать показатели и методы, обеспечивающие возможно большую точность расчета изменения затрат, связанных с применением литой детали повышенного качества.

Оптовую цену отливок определяют по действующему прейскуранту или рассчитывают.

1.6. ВИДЫ ПРОДУКЦИИ

В соответствии с ГОСТ 15467–79, в зависимости от качества, требований стандартов и ТУ продукцию подразделяют на годную, дефектную и брак.

Годная продукция – продукция, удовлетворяющая всем установленным требованиям. Она не содержит дефектов, препятствующих ее приемке, но, как правило, имеет допускаемые отклонения показателей качества или параметров.

Выявление скрытых дефектов на последующих участках контроля или стадиях эксплуатации продукции означает, что данная продукция (ее единица), ошибочно считавшаяся до этого годной, фактически является дефектной.

Понятие "*годная продукция*" следует отличать от более узкого понятия "*работоспособная продукция*", применимого к такой продукции, которая при ее использовании по назначению расходует свой технический ресурс. Такая продукция, будучи годной, является не только работоспособной, но и исправной, так как она удовлетворяет всем требованиям нормативной документации. Однако работоспособная продукция не всегда является годной, поскольку может иметь дефекты, не оказывающие существенного влияния на функционирование продукции, но исключающие возможность поставки ее потребителю.

Дефектная продукция (дефектное изделие) – продукция (изделие), имеющая хотя бы один дефект.

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Если рассматриваемая единица продукции имеет дефект, то это означает, что, по меньшей мере, один из показателей ее качества или параметров вышел за предельное значение или не выполняется (не удовлетворяется) одно из требований нормативной документации к признакам продукции.

Несоответствие требованиям технического задания или установленным правилам разработки (модернизации) продукции относится к конструктивным дефектам.

Несоответствие требованиям нормативной документации на изготовление или поставку продукции относится к производственным дефектам.

Термин "*дефект*" связан с термином "*неисправность*", но не является его синонимом. Неисправность представляет собой определенное состояние изделия. Находясь в неисправном состоянии, изделие имеет один или несколько дефектов.

Термин "*дефект*" применяют при контроле качества продукции на стадии ее изготовления, а также при ее ремонте, например, при дефектации, составлении ведомостей дефектов и контроле качества отремонтированной продукции.

Термин "*неисправность*" применяют при использовании, хранении и транспортировании отдельных изделий. Например, словосочетание "характер неисправности" означает конкретное недопустимое изменение в изделии, которое до его повреждения было исправным (находилось в исправном состоянии).

В отличие от термина "*дефект*" термин "*неисправность*" распространяется не на всякую продукцию, в том числе не на всякие изделия, например, не называют неисправностями недопустимые отклонения показателей качества материалов, топлива, химической продукции, изделий пищевой продукции и т.п.

Термин "*дефект*" следует отличать также от термина "*отказ*".

Отказом называется событие, заключающееся в нарушении работоспособности изделия, которое до возникновения отказа было работоспособным. Отказ может возникнуть в результате наличия в изделии одного или нескольких дефектов, но появление дефектов не всегда приводит к отказу, т.е. неработоспособности изделия.

Дефекты разделяют на следующие виды.

По возможности выявления: явный; скрытый.

Явный – дефект, для выявления которого в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля, предусмотрены соответствующие правила, методы и средства.

Скрытый – дефект, для выявления которого в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля, не предусмотрены соответствующие правила, методы и средства.

Деление дефектов на явные и скрытые обусловливается предусмотренными правилами, методами и средствами контроля качества продукции.

К правилам контроля относят его распорядок (регламент, график), к методам – технологию (способы, приемы, последовательность операций), объем (число контролируемых показателей или параметров) и точность.

К средствам контроля относят используемое оборудование (стенды, испытательные машины, оснастку позиций и площадок на полигонах и т.п.), измерительную и регистрирующую аппаратуру, а также инструменты и приборы.

Многие явные дефекты выявляют при внешнем осмотре (визуально). Однако если нормативной документацией предусмотрена проверка наличия какого-либо дефекта инструментом, прибором или разборкой контролируемого изделия, то такой дефект относится к категории явных, несмотря на невозможность его визуального обнаружения.

Скрытые дефекты, как правило, выявляют после поступления продукции к потребителю или при дополнительных, ранее не предусмотренных проверках, в связи с обнаружением других (явных) дефектов.

По степени влияния дефекта на эффективность и безопасность использования продукции: критический; значительный; малозначительный.

Критический – дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо.

Значительный – дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность, но не является критическим.

Малозначительный – дефект, который существенно не влияет на использование продукции по назначению и на ее долговечность.

Указанное разделение проводят для последующего выбора вида контроля качества продукции (выборочный или сплошной).

Чтобы не пропустить критический дефект, контроль продукции должен быть сплошным и в ряде случаев – неоднократным.

Контроль отсутствия значительного дефекта допускается осуществлять выборочно только при достаточно низком значении риска потребителя. Отсутствие малозначительного дефекта может контролироваться выборочно при относительно высоком значении риска потребителя.

Для некоторых видов продукции определенные совокупности дефектов, каждый из которых при отдельном его рассмотрении является малозначительным, могут быть эквивалентны значительному или даже критическому дефекту и должны относиться к соответствующей категории. Совокупности же значительных или значительных с малозначительными дефектов аналогичным образом могут быть эквивалентны критическому дефекту и должны относиться к категории критических.

По возможности устранения: устранимый; неустранимый.

Устранимый – дефект, устранение которого технически возможно и экономически целесообразно.

Неустранимый – дефект, устранение которого технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Устранимость и неустранимость дефекта определяют применительно к рассматриваемым конкретным условиям производства и ремонта с учетом необходимых затрат и других факторов.

Один и тот же дефект может быть отнесен к устранимым или неустранимым в зависимости от того, обнаружен он на ранних или на заключительных этапах технологического процесса производства (ремонта).

Неустранимые дефекты могут переходить в категорию устранимых также в связи с усовершенствованием технологии производства (ремонта) продукции и снижением затрат на исправление брака.

Брак – продукция, передача которой потребителю не допустима из-за наличия дефектов.

Понятие "*брак*" совпадает с понятием "*забракованная продукция*", если продукция состоит из одной единицы, оказавшейся дефектной, или из нескольких единиц, в каждой из которых имеется хотя бы один дефект.

Если продукция, состоящая из нескольких единиц (например, партия изделий), забракована по результатам выборочного контроля, то в ней, кроме дефектных единиц (дефектных изделий), могут содержаться также и годные единицы (годные изделия). В этом случае брак могут выделять из забракованной продукции при ее разбраковке методом сплошного контроля. Продукция, состоящая из годных единиц, может быть забракована в связи с получением при испытаниях неудовлетворительного значения показателя однородности.

В приведенных случаях понятия "*брак*" и "*забракованная продукция*" не совпадают.

Понятие брак относится, как правило, к условиям создания продукции. Однако если брак обнаруживается при эксплуатации или потреблении продукции, то ответственность за выпуск брака и поставку его потребителю несет изготовитель (поставщик) продукции.

Брак различают по возможности исправления на два вида: исправимый и неисправимый.

Исправимый брак – брак, все дефекты в котором, обусловившие забракование продукции, являются устранимыми.

Неисправимый брак – брак, в котором хотя бы один из дефектов, обусловивших забракование продукции, является неустранимым.

Аналогично делению дефектов на устранимые и неустранимые отнесение брака к исправимому и неисправимому зависит от ряда факторов, например, от принятой технологии изготовления продукции, величины затрат на исправление брака и т.д.

На основе общего подхода перечисленные термины и определения основных понятий качества продукции можно распространять и на отливки, являющиеся продукцией литейного производства.

1.7. БЕЗДЕФЕКТНОСТЬ ОТЛИВОК

Специалисты по управлению качеством придерживаются различных мнений по поводу отнесения брака к категориям качества продукции. Брак представляет собой непроизводительную затрату

трудовых, материальных и финансовых ресурсов, что приводит к удорожанию выпускаемой продукции. Борьбе с браком уделяют большое внимание. Однако следует согласиться с мнением, что ликвидацию брака и стремление выпускать более качественную продукцию не следует полностью отождествлять. Можно, например, выпускать продукцию низкого уровня качества и иметь небольшой уровень брака, и наоборот. Поэтому мероприятия, направленные на сокращения брака на предприятиях, следует рассматривать как процесс, целью которого является снижение затрат на производство.

Такая точка зрения вытекает и из самого понятия качества отливок как совокупности потребительских свойств. Брак, выявленный на предприятии-производителе отливок (внутренний брак), непосредственно не оказывает влияния на качество годных отливок, поставленных заказчику. Увеличение внутреннего брака может быть вызвано ужесточением требований к отливкам, введением более жесткого контроля соблюдения этих требований. Увеличение внутреннего брака прежде всего отражается на экономических показателях (цена, себестоимость). Поэтому внутренний брак следует считать скорее показателем КС УКП, а не непосредственного качества отливок [4].

Напротив, внешний брак по своему смыслу более близок к понятию "качество отливок". Непосредственно качество отливок (в смысле стабильности показателей качества поставляемых отливок) характеризует показатель, определяемый как доля в процентах безрекламационных отливок (уровень бездефектности отливок), т.е. относительный объем бездефектных отливок (без тех отливок, брак по которым был обнаружен после поставки заказчику, в том числе при механической обработке, в процессе эксплуатации и т.п., и вызвал претензии со стороны потребителя). Следовательно, при оценке качества литых деталей прежде всего могут быть использованы методы статистического регулирования и статистического контроля, базирующиеся на данных литейных цехов и заводов, отчетных данных о рекламациях, поступающих от заказчиков.

Таким образом, уровень бездефектности отливок находят по формуле

$$У_б = \frac{V_в - Б_в}{V_в} 100,$$

где $V_в$ – объем отливок, поставленных потребителю за конкретный период; $Б_в$ – объем внешнего брака отливок в соответствующих единицах измерения.

Долю безрекламационных отливок ($V_в$ – $Б_в$) определяют на основе справок ОТК предприятий потребителей (заказчиков), отчетных данных, собранных в процессе подготовки к первоначальной оценке уровня качества отливок за период не менее двенадцати месяцев, а при повторной оценке – за весь период между оценками с учетом характера изменений уровня бездефектности отливок и потерь от внешнего брака за указанный период.

При устойчивом характере изменений уровня бездефектности отливок (росте или падении) фактическое значение показателя берут как среднее арифметическое значение за три последних месяца. При относительно нестабильном или неустойчивом характере изменения (колебаниях) за фактическое значение принимают среднее арифметическое значение показателя не менее чем за шесть последних месяцев.

Для повышения уровня бездефектности отливок в качестве обязательного условия присвоения им высшей категории качества может быть выдвинуто требование обязательности предварительной (черновой) механической обработки отливок.

При решении задач управления качеством отливок необходимо иметь более дифференцированные показатели, чем доля безрекламационных отливок (уровень бездефектности). Такими показателями по ГОСТ 15467–79 являются *коэффициент дефектности и индекс дефектности.*

Для определения коэффициента дефектности берут выборку из n единиц отливок, и в ней подсчитывают все дефекты, разбитые заранее на k видов. Для каждого вида дефекта устанавливают коэффициент весомости r_i, где $i = 1, 2, \ldots, k$. Коэффициент r_i может

быть определен экспертным путем или по стоимости устранения дефекта данного вида.

Коэффициент дефектности вычисляется по формуле

$$D = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k} m_i r_i ,$$

где m_i – число дефектов каждого вида в выборке.

Относительный коэффициент дефектности можно определить по формуле

$$Q = D / D_б ,$$

где $D_б$ – коэффициент дефектности, найденный для определенного базового периода.

Индекс дефектности рассчитывают за определенный период времени, в течение которого литейный цех выпустил s видов (классификационных группировок) отливок, стоимость объема производства каждого вида которых составляет C_i, где $i = 1, 2, \ldots, s$.

Индекс дефектности определяют по формуле

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^{s} \beta_i Q_i ,$$

где $\beta_i = C_i / \left(\sum_{i=1}^{s} C_i \right)$ – коэффициент весомости; Q_i – относительный коэффициент весомости данного вида.

Для расчета коэффициента и индекса дефектности необходимо осуществить классификацию дефектов. Наиболее широко известна классификация отливок по видам, техническим последствиям и причинам. Принципиально возможно классифицировать дефекты и по их влиянию на экономичность производственного процесса.

Классификация дефектов должна решать несколько задач. Она позволяет, во-первых, устранить субъективности при управ-

лении качеством отливок и определении весомости того или иного дефекта; во-вторых, учесть реальные особенности отливок и рационализировать процесс производства с учетом границ, когда затраты на осуществление контроля какого-либо параметра экономически оправданы; в-третьих, оценить качество труда исполнителей.

На предприятиях, имеющих в своем составе вычислительные центры, оснащенные ЭВМ, обработку информации о дефектности целесообразно автоматизировать. На предприятиях, где такой возможности нет, рекомендуют составлять перечни встречающихся дефектов отливок и согласно этим перечням вести учет их проявления.

Контрольные вопросы

1. Что такое качество и надежность продукции?
2. Что такое показатель качества продукции, виды показателей?
3. Перечислите основные факторы, влияющие на качество отливок.
4. Назовите методы определения показателей качества.
5. Назовите классификационные показатели и показатели назначения. Какие свойства они характеризуют?
6. Перечислите показатели технологичности и экономного использования металла, какие свойства они характеризуют. Их оценка?
7. Показатели качества поверхности отливок.
8. Экономические показатели.
9. Виды продукции.
10. Виды дефектов.
11. Виды брака.
12. Уровень бездефектности отливок.
13. Как определить коэффициент и уровень дефектности?

Глава 2

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ

Для правильного определения причин и принятия эффективных мер по предупреждению и выявлению дефектов и брака отливок все дефекты должны быть классифицированы, что помогает установить истинные причины их возникновения, разработать эффективные меры по их устранению и выбрать надежные методы контроля.

В соответствии с ГОСТ 19200–80 "Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов" различают 50 разновидностей дефектов, которые подразделяются на пять основных групп:

1) дефекты несоответствия по геометрии (14 видов), которые нарушают конфигурацию отливок, а следовательно, влияют на массовую и размерную точность;

2) несплошности в теле отливки (16 видов). Эти дефекты нарушают сплошность и однородность литого металла, снижают механические свойства отливок;

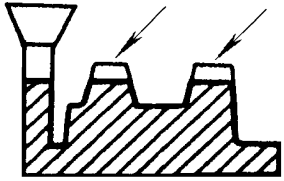
3) дефекты поверхности (13 видов). Большинство этих дефектов возникает вследствие сложных физико-химических процессов, протекающих на границе раздела металла с формой, и ухудшают качество поверхности;

4) включения (3 вида). Встречаются в виде инородных металлических и неметаллических частиц, в основном образуются внутри отливки, и поэтому снижают механические свойства;

5) дефекты несоответствия по структуре (4 вида), нарушают макро- и микроструктуру, характерны как для тонкостенных, так и массивных отливок.

В принятой классификации дефектов отсутствуют определения дефектов типа несоответствия химического состава и механических свойств, поэтому эти дефекты стали самостоятельным браковочным признаком и выведены за рамки понятия "литейный дефект". Несоответствие свойств можно рассматривать как вторичное явление,

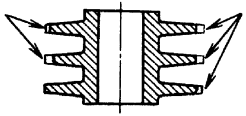
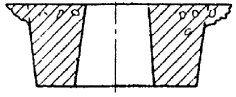
2.1. Дефекты несоответствия по геометрии

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. ***Недолив*** – дефект в виде неполного образования контура отливки вследствие незаполнения полости литейной формы металлом при заливке  Дефект расположен обычно в удаленных от питателя частях отливки, в верхней по заливке зоне, характерен для тонкостенных отливок сложной конфигурации. Выражается в отсутствии части отливки (см. рис. 1, рис. 2 в Приложении 2). Наиболее часто недолив получается вследствие низкой жидкотекучести металла	1.1. Низкая жидкотекучесть металла	
	1.1.1. Пониженная температура заливки	Соблюдение оптимальной температуры заливки
	1.1.2. Повышенное содержание неметаллических включений и газов	Рафинирование металла. Сушка и прогрев ковшей перед заливкой, поддержание оптимальной влажности смеси, сушка форм и стержней
	1.1.3. Недостаточная вентиляция формы	Выполнение наколов, вентиляционных каналов при формовке, использование смесей с высокой газопроницаемостью, применение выпоров
	1.2. Неправильные конструкция литниковой системы и схема подвода металла к отливке	Расчетом и экспериментально уточнить се ения элементов литниковой системы (в том числе выпоров), статический напор металла, изменить место подвода металла
	1.3. Медленная заливка с прерыванием струи металла	Рассчитать оптимальную продолжительность заливки, не допускать перерыва струи металла при заливке
	1.4. Недостаточное для заполнения формы количество металла в ковше	Не заливать форму, если нет уверенности в достаточном количестве металла, сделать расчет

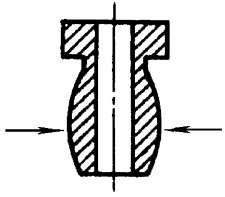
Продолжение табл. 2.1

	ры предупреждения
	в пп. 1.1–1.3
	е режимов плавки и залив-кого состава металла
	смесей с более низкий лирующей способностью
	вочных).

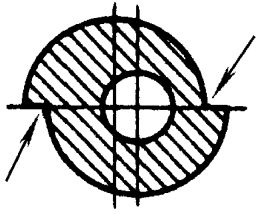
Продолжение табл. 2.1

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
3. ***Незалив*** (ндп – нечеткость контура) – дефект в виде несоответствия конфигурации отливки чертежу вследствие износа модели или недостаточной отделки формы 	3.1. Износ и поломка модели 3.2. Недостаточное уплотнение см си, частичный обвал формы, небрежная отделка формы	Проверка общего состояния и размеров модели Увеличение плотности смеси, тщательный осмотр и отделка форм перед сборкой
4. ***Обжим*** – дефект в виде нарушений конфигурации отливки, возникающий вследствие деформации формы из-за механических воздействий до или во время заливки  Обжим проявляется в виде неравномерного прилива главным образом в плоскости разъема формы или стержня. Обвалившиеся части формы попадают обычно в отливку в вид песчаных включений	4.1. Недостаточная прочность и пластичность формовочной смеси, слабое и неравномерное уплотнение 4.2. Несоответствие размеров знаковых частей формы, стержня, их коробление и износ 4.3. Неточности при сборке и нагрузке форм	Обеспечение оптимальных свойств и повышение плотности набивки формовочной смеси Проверка размеров и общего состояния модельного комплекта Определение необходимой массы груза и сил крепления опок, соблюдение точности сборки форм. При формовке по-сырому выполнять противообжимные пояски

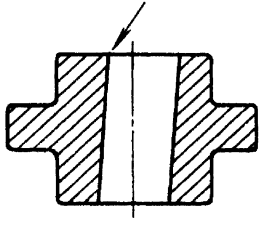
Продолжение табл. 2.1

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
5. ***Подутость*** (ндп – *распор*, *раздутие*) – дефект в виде местного утолщения отливки вследствие распирания неравномерно и недостаточно уплотненной формы заливаемым металлом	5.1. Чрезмерно высокий металлостатический напор, неправильная конструкция литниковой системы	Снижение металлостатического давления за счет изменения места подвода металла и конструкции линтиковой системы
	5.2. Недостаточная прочность и повышенная влажность формовочной смеси	Контроль прочности смеси, особенно в нижних по заливке местах, использование подсушенных и сухих форм
 Подутость – характерный дефект для отливок, получаемых в сырых формах с недостаточной степенью уплотнения. Располагается преимущественно в нижних по положению отливки частях формы (см. рис. 4 в Приложении 2)	5.3. Недостаточное и неравномерное уплотнение литейной формы	Контроль твердости формы, применение способов уплотнения с большими силами прессования

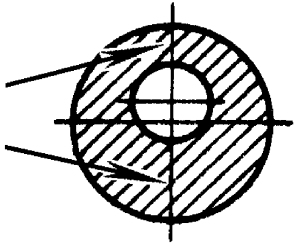
Продолжение табл. 2.1

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
6. ***Перекос*** (ндп – *сдвиг*) – дефект в виде смещения одной части отливки относительно осей или другой части по разъему формы, модели или опок вследствие их неточной установки и фиксации при формовке и сборке  Перекос может быть как по верхней части отливки, так и по внутренней полости (см. рис. 5 в Приложении 2). Если перекос больше припуска на механическую обработку или превышает допустимые отклонения, оговоренные в технической документации, отливку бракуют	6.1. Неисправность модельной и опочной оснастки	Тщательный контроль состояния модельно-опочной оснастки, особенно фиксирующих втулок и штырей
	6.2. Неточная сборка комплекта стержней и формы	Контроль соблюдения технологии сборки форм и стержней
	6.3. Неправильный монтаж моделей на плите	Проверка правильности размещения моделей при их монтаже на плите
	6.4. Сдвиг полуформ, вызванный внешним воздействием, например, при транспортировке	Скрепление опок скобами и транспортировка форм при неизвлеченных контрольных штырях
	6.5. Неправильный выбор жеребеек или неаккуратная их установка	Расчет жеребеек, проверка правильности из установки

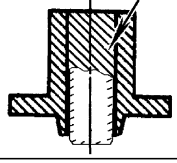
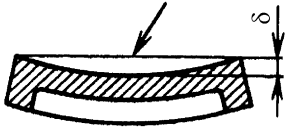
Продолжение табл. 2.1

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
7. ***Стержневой перекос*** – дефект в виде смещения отверстия, полости или части отливки, выполняемых с помощью стержня вследствие его перекоса 	7.1. Неточная установка стержня при сборке формы	Контроль правильности установки стержней в формы
	7.2. Слабое крепление стержней в знаках и жеребейками, большой зазор между знаком стержня и знаковой частью формы, слабые жеребейки	Проверка крепления стержней, прочности жеребеек, устранение зазора при сборке
	7.3. Недостаточные размеры знаковых частей стержня, отсутствие фиксаторов	Увеличение размеров знаковых частей, проверка наличия фиксаторов

Продолжение табл. 2.1

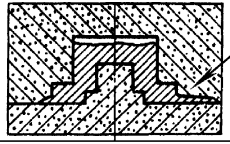
Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
8. ***Разностенность*** (ндп – *смещение стержня*) – дефект в виде увеличения или уменьшения толщины стенок отливки вследствие смещения, деформации или всплывания стержня 	8.1. Сдвиг стержня в процессе сборки и транспортировки форм	Сборка полуформ по контрольным штырям, проверка высоты штырей, транспортировка форм при неизвлеченных контрольных штырях в скрепленном состоянии
	8.2. Несоответствие сушильных плит конфигурации стержней из-за недостаточно жесткого неотожженного каркаса, вызывающего изгиб стержня в процессе заливки форм	Применение сушильных плит, соответствующих конфигурации стержня, подсыпка песка при установке на плиту перед сушкой. Упрочнение каркаса, предварительный отжиг каркаса
	8.3. Небрежная сборка форм и установка стержней. Плохое крепление стержней в знаках и жеребейками, неправильно назначенные размеры и конфигурация знаков, особенно при одностороннем креплении стержня	Соблюдение основных правил при простановке стержней, сборке форм и конструировании стержневой оснастки

Продолжение табл. 2.1

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
9. ***Стержневой залив*** – дефект в виде залитых металлом отверстий или полостей в отливке из-за непроставленного в литейную форму стержня или его разрушения 	9.1. Ошибка при сборке форм	Контроль сборки форм
	9.2. Несоответствие размеров знаков и форм	Контроль изготовленных моделей и стержневых ящиков
	9.3. Недостаточная прочность стержня	Контроль прочности стержневой смеси, применение каркасов
	9.4. Размыв стержня жидким металлом	Изменение места подвода металла
10. ***Коробление*** (ндп – *прогиб*) – дефект в виде искажения конфигурации отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении, а также в результате изготовления неправильной модели 	10.1. Нерациональная конструкция отливки	Исправление конструкции отливки: установка ребер, галтелей, изменение толщины стенок
	10.2. Неравномерное охлаждение отдельных частей отливки из-за нерациональной ее конструкции	Выравнивание скоростей охлаждения тонких и толстых частей отливки (холодильники, принудительное охлаждение водой, воздухом)
	10.3. Неправильный подвод металла	Подвод металла в более тонкие части и концевые части отливки, рассредоточение питателей
	10.4. Не назначена термообработка	Отливки подвергнуть термообработке: отжигу, отпуску, старению

Продолжение табл. 2.1

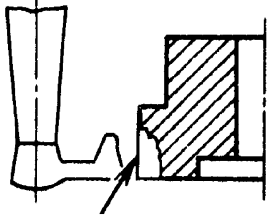
[redacted]
[redacted]ы предупреждения
[redacted] контроль режимов термооб- [redacted]омерная укладка отливок в
[redacted]мпературы заливаемого ме-
[redacted]е различных добавок для уве- [redacted]тливости смеси, оболочковых [redacted]ей, опустошений и т.д.
[redacted]режимов выдержки отливки в
[redacted]анения моделей и процесса [redacted]меси при формовке
[redacted]счета или опытная проверка [redacted]тным прогибом
[redacted] технологии подготовки от- [redacted]е (заварке) и самого процес-
[redacted]



12.2. Высокий металлостатический напор металла

И
сн

Продолжение табл. 2.1

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
11. ***Вылом*** – дефект в виде нарушения конфигурации и размера отливки при выбивке, обрубке, отбивке литников и прибылей, очистке и транспортировании (см. рис. 6 в Приложении 2) 	11.1. Неправильная или небрежная загрузка отливок в очистные барабаны, большая высота падения отливок на выбивную решетку или транспортные приспособления	П ис ст ни
	11.2. Затрудненная отбивка литников и прибылей	И сн пр ле бы по
12. ***Прорыв металла*** (ндп – *прорыв формы*) – дефект в виде неполного образования или неправильной формы отливки, возникающий при заливке вследствие недостаточной прочности формы	12.1. Недостаточная прочность формы	К ни с

олная загрузка очистных барабанов, ключение совместной загрузки тонкоенных и тяжелых отливок. Уменьшее высоты падения отливок

менение конструкции литниковой стемы за счет уменьшения толщины тателей, сечения основания прибый, применения легкоотделяемых прилей. Предварительная подрубка и дрезка литниковой системы

нтроль прочности смеси, использова- е сухих и подсушенных форм, смесей ысокой прочностью

менение конструкции литниковой стемы

Продолжение табл. 2.1

	редупреждения
	овных правил отрезки тки отливок
	ения и загрузки форм, емной силы и величи-
	но-опочной оснастки
	специальных качест- телей
	можность попадания яционные отверстия
	ературы заливаемого

2.2. Несплошности в теле отливки

еделение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
ефект в виде разры-отливки усадочного ающего в интервале я – трещина, распола- кристаллов, имеет неровную (извили-ную) поверхность, на дендриты. Горячая изи температуры со-ружной и внутренней. горячим трещинам лого чугуна так как в них возникают из-ной формы. Чугун с атвердевает с расши-ации и не склонен к щин.	1.1. Неправильная конструкция отливки	Изменение конструкции отливки: устранение резких переходов от толстых к тонким сечениям, использование ребер жесткости, галтелей
	1.2. Неравномерное охлаждение отдельных частей отливки	Выравнивание скорости охлаждения толстых и тонких частей отливки за счет снижения температуры и скорости заливки, установки холодильников, использования смесей с различной теплопроводностью, применения металлооболочковых форм, суспензионной заливки
	1.3. Недостаточная податливость форм и стержней	Повышение податливости формовочной и стержневой смеси, ослабление форм и стержней, использование оболочковых форм и стержней
	1.4. Неправильный выбор места подвода металла	Изменение конструкции литниковой системы с целью устранения сосредоточенного подвода металла, выравнивание скорости затвердевания различных сечений отливки

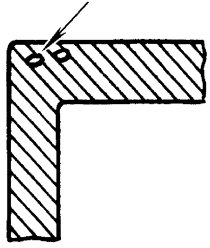
Продолжение табл. 2.2

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Отливки с горячими трещинами приведены на рис. 8–10 в Приложении 2. Разновидностью горячих трещин являются "*залеченные*" трещины. Внутренняя "залеченная" трещина после травления на макроструктуру представляет собой светлые извилистые полоски, а на серном отпечатке – темные линии, обогащенные ликватами серы. Характерным признаком наружной "залеченной" горячей трещины является нарост (гребень) над трещиной затвердевшего металла	1.5. Недостаточное питание мест перехода от одного сечения к другому (массивных узлов)	Использование холодильников, технологических напусков и прибылей
	1.6. Повышенное содержание серы, фосфора, водорода и примесей, способствующих появлению легкоплавких соединений	Снижение содержания в сплаве вредных примесей (раскисление, рафинирование, модифицирование, основная футеровка, очищенная шихта, электрошлаковый переплав (ЭШП), вакуумно-дуговой переплав (ВДП) и др.)
	1.7. Повышенная температура заливаем г металла	Снижение температуры заливки (выдержка металла в ковше, суспензионная заливка)

Продолжение табл. 2.2

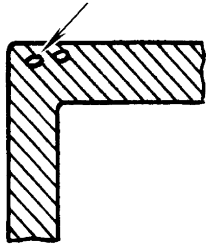
Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
3. ***Межкристаллитная трещина*** – дефект в виде разрыва тела отливки при охлаждении в форме на границах первичных зерен аустенита в температурном интервале распада	3.1. Быстрое охлаждение отливки в интервале температур фазовых превращений	Использование смесей и форм с малой теплопроводностью, исключение ранней выбивки отливки
Примечание: Межкристаллитные трещины наиболее характерны для низкоуглеродистых (менее 0,2 % С) и легированных хромистых и хромоникельмолибденовых сталей. Они резко снижают пластичность и вязкость металла, располагаются примерно в тех же границах, что и осевая рыхлота (см. рис. 13 в Приложении 2)	3.2. Грубая столбчатая структура	Измельчение структуры за счет снижения температуры заливки, модифицирования и суспензионной заливки (экзогенной и эндогенной)
	3.3. Повышенное содержание ликвирующих элементов, неметаллический включений и примесей, газов (в частности, сульфидов, нитридов алюминия, водорода)	Снижение содержания в стали вредных примесей, ликвирующих элементов и газов за счет рафинирования, раскисления, вакуумирования, электрошлаковой подпитки (особенно технически чистым железом), суспензионной разливки, специальных способов переплава

Продолжение табл. 2.2

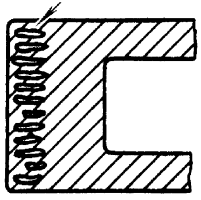
Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
4. ***Газовая раковина*** – дефект в виде полости, образованной выделившимися из металла или внедрившимися в металл газами  Газовые раковины могут быть одиночными и групповыми (см. рис. 14–16 в Приложении 2). Поверхность таких раковин гладкая	4.1. Повышенное содержание газов в металле из-за использования сырой шихты, сырых ферросплавов и флюсов, футеровочных материалов с повышенным содержанием влаги, нарушения режимов плавки и заливки	Применение сухих шихтовых и футеровочных материалов, ферросплавов и флюсов, предварительный подогрев шихты, дегазация сплава – плавка под вакуумом, вакуумирование в ковше и в процессе заполнения формы и затвердевания отливки, ВДП, плазменно-дуговой переплав (ПДП), электронно-лучевой переплав (ЭЛП), автоклавное литье, продувка инертным газом
	4.2. Недостаточно раскисленный металл	Дополнительное раскисление металла
	4.3. Повышенная газотворность и низкая газопроницаемость формы или стержней	Изменение состава формовочной или стержневой смеси, контроль уплотнения, газотворности и газопроницаемости

Продолжение табл. 2.2

	4.8. Захват газов в элементах литниковой системы 4.9. Заливка прерывистой струей	
5. ***Газовая пористость*** – дефект в виде мелких пор, образовавшихся в отливке в результате выделения газа из металла в процессе его затвердевания. Отливки с газовой пористостью приведены на рис. 15 и 17 в Приложении 2	То же, что и в пп. 4.1–4.8	

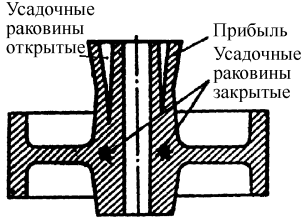
Наименование и определение дефекта	Причины образования	
	4.4. Недостаточная вентиляция форм и стержней 4.5. Недостаточная просушка форм и стержней перед заливкой 4.6. Применение грязных, влажных или окисленных жеребеек или холодильников 4.7. Низкая температура заливаемого металла	

Продолжение табл. 2.2

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
6. ***Ситовидная раковина*** (ндп – *ситовидная пористость*) – дефект в виде удлиненных тонких раковин, ориентированных нормально к поверхности отливки, вызванных повышенным содержанием водорода в кристаллизирующемся слое  Обычно ситовидные раковины рассредоточены в зоне, находящейся на расстоянии 1–6 мм от поверхности отливки по всей отливке или в отдельной ее части. Отдельные раковины могут выходить на поверхность отливки (см. рис. 18 в Приложении 2)	6.1. Повышенное содержание влаги в футеровочных материалах, шихте 6.2. Повышенная влажн сть форм и стержней, низкая их газопроницаемость 6.3. Наличие в чугуне примесей: Al (0,01…0,1 %), Ti (0,01…0,05 %), повышенного количества Mn (> 2,0 %) 6.4. Недостаточное раскисление стали 6.5. Пониженная температура заливаемого металла, особенно тонкостенных тлив к	Сушка футеровки печей, желоба и ковша, предварительный подогрев шихты, дегазация и вакуумирование металла Использование сухих форм, контроль сушки форм и стержней и газопроницаемости смесей Контроль химического состава жидкого металла, шихтовых материалов, модификаторов (ферросилиция, ферротитана) Качественное раскисление стали, уменьшение содержания кислорода за счет использования чистой шихты и металлургических процессов (кипение стали) Контроль температуры заливаемого металла

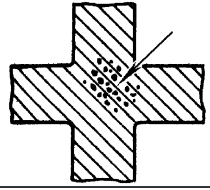
...ных местах отливки, которые затвердевают в последнюю очередь (см. рис. 20, 22–24 в Приложении 2)	...ливка 7.4. Отклонение химического состава металла от требований ГОСТ и ТУ	...ибл. 2.2 Контроль химического металла
	7.5. Недостаточная жесткость формы	Увеличение степени упл... формовочной смеси, уве... жесткости форм

Продолжение

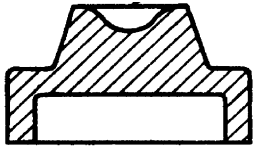
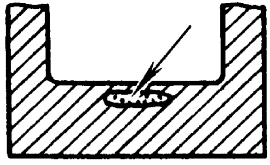
Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупрежден...
7. ***Усадочная раковина*** – дефект в виде открытой или закрытой полости с грубой, шероховатой, иногда окисленной поверхностью, образовавшейся вследствие усадки при затвердевании металла  Усадочные раковины образуются в утолщенных местах отливки, которые затвердевают в	7.1. Недостаточное и неправильное питание отливки жидким металлом в процессе ее затвердевания 7.2. Нетехнологичность конструкции отливки 7.3. Высокая температура заливки	Изменение литниковой ... расположения и размеров ...лей, выпоров, холоди... улучшение работы п... (прибыли атмосферного, ... и воздушного давления, ... изоляция и различные ви... рева и подпитки), обес... направленности затвердев... Изменение конструкции ... обеспечение направленн... твердевания за счет форм... смесей и холодильников, ... зионная разливка Снижение температуры ...мого металла, суспензио... ливка

...стемы, ...прибы- ...ников, ...былей ...зового ...тепло- ...обог- ...ечение ...ия ...ливки, ...ти за- ...очных ...успен- ...ливае- ...ая за- ...остава ...гнения ...ичение

Продолжение табл. 2.2

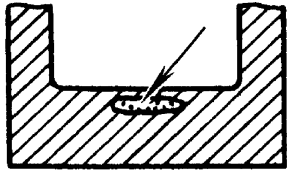
Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
8. ***Рыхлота*** – дефект в виде мелких усадочных раковин (см. рис. 20 в Приложении 2)	То же, что и в пп. 7.1–7.5	То же, что и в пп. 7.1–7.5
9. ***Усадочная пористость*** – дефект в виде мелкий пор, образовавшихся вследствие усадки металла во время его затвердевания при недостаточном питании (см. рис. 21 в Приложении 2) 	То же, что и в пп. 7.1–7.5	То же, что и в пп. 7.1–7.5
10. ***Залитый шлак*** – дефект в виде частичного заполнения литейной формы шлаком	10.1. Попадание шлака с расплавом в форму при заливке 10.2. Небрежная заливка формы, нерациональное устройство ковшей, не способствующее отделению шлака	Скачивание шлака с зеркала расплава перед заливкой Применение чайниковых и стопорных ковшей, прекращение заливки при выходе шлака из ковша

Продолжение табл. 2.2

	давливанию в полость раковины недостаточно прочной затвердевающей поверхностной корочки металла		предупреждения в пп. 7.1–7.5
12. ***Песчаная раковина*** – дефект в виде полости, полностью или частично заполненной формовочным материалом 	12.1. Размывание или разрушение жидким металлом стенок формы или стержня и литниковой системы	Изменен вой сис сокопро ки литн примене для лит шение п стержне	

Наименование и определение дефекта	Причины образования	М	
11. ***Утяжина*** – дефект в виде углубления с закругленными краями на поверхности отливки, образовавшегося вследствие усадки металла при затвердевании (см. рис. 25 и 26 в Приложении 2)	Недостаточное питание массивного узла отливки, приводящее к образованию усадочной раковины внутри узла, утяжке или про-	То же, ч	конструкции литнико- ы, использование вы- й смеси для облицов- вых каналов и форм, шамотных трубок овой системы, повы- ности набивки форм и

Продолжение табл. 2.2

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
В большинстве случаев песчаные раковины являются следствием других дефектов, вызванных разрушением рабочей полости формы. Располагаются чаще всего в верхних частях отливки (см. рис. 27 в Приложении 2)	12.2. Попадание формовочной смеси в полость формы при ее сборке и транспортировке 12.3. Тепловое воздействие жидкого металла на стенки формы (обгар, деформация поверхности, выгорание связующего и отрыв частиц формы)	Соблюдение технологии сборки и транспортировки форм, обдув и отсос посторонних частиц из формы Заливка формы в наклонном и вертикальном положении, использование высокоогнеупорных формовочных материалов и красок
13. ***Шлаковая раковина*** – дефект в виде полости, полностью или частично заполненной шлаком 	13.1. Недостаточный перегрев металла, пониженная вязкость шлака	Повышение температуры металла и шлака

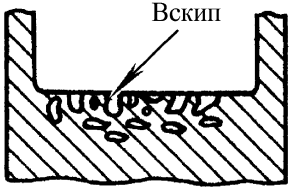
Продолжение табл. 2.2

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Шлаковые раковины чаще всего располагаются в верхних частях отливки или на их поверхности (см. рис. 28 в Приложении 2). Оставшиеся после удаления шлака полости в теле отливки могут иметь гладкую или шероховатую поверхность с неровными краями	13.2. Неправильная конструкция и тип литниковой системы	Изменение конструкции литниковой системы (способа подвода, шлакоуловителя, использование фильтровальных сеток)
	13.3. Нерациональный выбор типа ковша	Применение чайниковых и стопорных ковшей
	13.4. Применение загрязненной и окисленной шихты, флюсов, нестойких огнеупоров, способствующих образованию шлака	Использование чистой шихты и флюсов, более стойких огнеупоров
	13.5. Плохая очистка металла в ковше от шлака и небрежная заливка формы	Выдержка металла в ковше перед заливкой, сгущение шлака в ковше, скачивание шлака с зеркала расплава перед заливкой

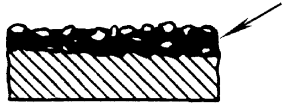
Продолжение табл. 2.2

и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
ористость – дефект отли-а в виде сосредоточенных выделений графита, вы-ости металла при испыта-м или газовым давлением. жении 2 приведена графи-чугунной отливке	14.1. Выделение крупных и грубых включений первичного графита, к - торые, переплетаясь между собой, создают микропористость на границе графит–металлическая основа	Измельчение графита
	14.2. Причины образования графитовой пористости могут быть те же, что и усадочной пористости, рыхлоты, раковин	То же, что и в пп. 7.1. – 7.5
в виде скоплений раковин завшихся в местах переув-й формы или проникнове-кней в полость литейной	15.1. Повышенная влажность формы или стержня	Контроль влажности формовочной и стержневой смеси, сушка форм и стержней
	15.2. Повышенная газотворность формы или стержня	Повышение газопроницаемости смеси, использование негазотворных добавок

Продолжение табл. 2.2

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
	15.3. Длительная выдержка форм и стержней перед заливкой	Соблюдение технологической инструкции на изготовление форм, использование в смеси негигроскопичных материалов
	15.4. Недостаточно эффективная вентиляция формы или стержня	Контроль вентиляционных каналов и наколов
	15.5. Применение влажных и окисленных жеребеек и холодильников	Тщательный контроль состояния поверхности жеребеек и холодильников. Подогрев перед сборкой формы
16. ***Непровар жеребеек (холодильников)*** – дефект в виде несплошности соединения металла отливки с поверхностью жеребеек (холодильников) вследствие их загрязнения, несоответствия масс, понижения температуры заливаемого металла	16.1. Небрежная подготовка поверхности жеребеек (холодильников)	Очистка, обезжиривание, лужение их поверхности соприкосновения с жидким металлом
	16.2. Несоответствие масс жеребеек (холодильников) и заливаемого металла (отливки)	Уточнение расчетом и экспериментальная проверка на соответствие масс
	16.3. Недостаточная температура заливаемого металла	Повышение температуры заливаемого металла

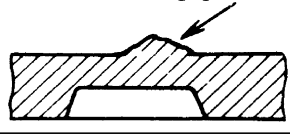
2.3. Дефекты поверхности

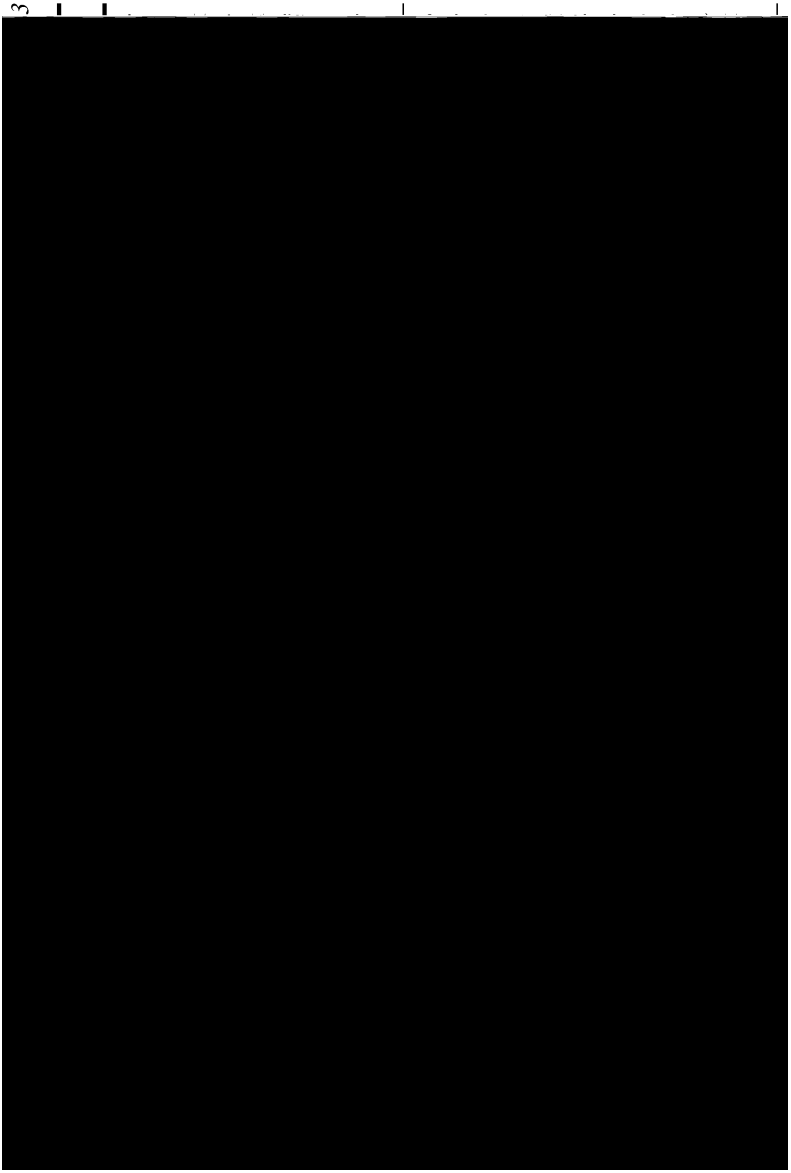
Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. ***Поверхностное повреждение*** (ндп – *забоина*) – дефект в виде искажения поверхности, возникшей при выбивке отливки из формы, очистке и транспортировании	Небрежное выполнение операций выбивки, очистки и транспортирования отливок	Уменьшение высоты падения отливок, исключение совместной транспортировки, выбивки и очистки тяжелых и тонкостенных отливок, а также преждевременной выбивки отливок
2. ***Пригар*** (ндп – *металлизация*) – дефект в виде трудноотделяемого специфического слоя на поверхности отливки, образовавшегося вследствие физического и химического взаимодействия формовочного материала с металлом и его оксидами  Пригар образуется преимущественно на отливках из сплавов с высокой температурой плавления (чугун, сталь и др.) при заливке в песчаные формы (см. рис. 30 и 31 в Приложении 2)	2.1. Чрезмерно высокая температура заливаемого металла 2.2. Недостаточная огнеупорность формовочных материалов 2.3. Большой металлостатический напор металла в форме. Сосредоточенная литниковая система 2.4. Недостаточная раскисленность металла	Уменьшение температуры заливки (выдержка металла в ковше, суспензионная разливка) Использование высокоогнеупорных материалов Изменение конструкции литниковой системы Соблюдение технологии раскисления, применение химически инертных материалов

Продолжение табл. 2.3

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Условно пригар подразделяется на механический, химический и термический. *Механический пригар* образуется в результате проникновения жидкого металла в поры формы и стержня. После затвердевания образуется металлокерамическая корка, прочно сцепленная с отливкой	2.5. Слабое уплотнение смеси	Применение способов уплотнения с большими силами прессования, контроль твердости форм и стержней
	2.6. Высокая пористость формы или стержня	Использование мелкозернистых песков, облицовочных смесей и красок с высокодисперсными добавками
	2.7. Медленное затвердевание отливки	Использование смесей с высокой теплоаккумулирующей способностью, снижение температуры заливаемого металла, суспензионная разливка, применение тонкостенных и металлооболочковых форм с естественным и принудительным охлаждением

Продолжение табл. 2.3

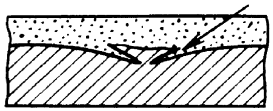
Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Химический пригар образуется в результате химического взаимодействия окислов металла отливки с компонентами смеси и атмосферой формы. Химический пригар делят на трудноотделяемый и легкоотделяемый	2.8. Химическое взаимодействие окислов металла с окислами формы	Использование химически инертных наполнителей в составе формовочных смесей и противопригарных красок
	2.9. Отсутствие или недостаточное содержание в смеси противопригарных добавок (угля, мазута и др.)	Использование смесей с противопригарными добавками, противопригарных покрытий форм и стержней
	2.10. Некачественная отделка и покраска форм и стержней	Контроль поверхности окрашенных форм и стержней. Прошпиливание форм гвоздями с широкими шляпками
3. ***Нарост*** – дефект в виде выступа произвольной формы, образовавшегося из загрязненного формовочными материалами металла вследствие разрушения литейной формы 	3.1. Недостаточная прочность и термостойкость формовочной смеси	Контроль формовочной смеси, использование термостойких добавок, формовочных материалов и красок



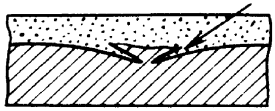
Продолжение табл. 2.3

	предупреждения	о и *Недолив* (см. 2.1)

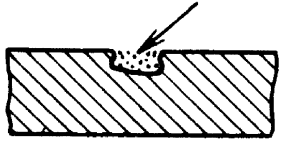
Продолжение табл. 2.3

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
6. ***Грубая поверхность*** – дефект в виде шероховатости с параметрами, превышающими допустимые значения	То же, что и в п. 2	То же, что и в п. 2
7. ***Ужимина*** – дефект в виде углубления с пологими краями, заполненного формовочным материалом и покрытого слоем металла, образованного вследствие отслоения формовочной смеси при заливке  В зависимости от условий образования может иметь вид неглубокой вытянутой канавки или впадины, тонкого плоского выступа, плоского неправильной формы нароста, сопровождающихся песчаными включениями (см. рис. 36 и 37 в Приложении 2)	7.1. Большие тепловые напряжения в поверхностном слое формы	Использование формовочных материалов с малым коэффициентом теплового расширения. Использование добавок, снижающих тепловое расширение смеси. Оптимальная продолжительность заливки. Использование мелкозернистого песка. Снижение температуры заливаемого металла, суспензионная заливка. Прошпиливание форм. Нанесение на поверхность формы противоужимной сетки и противопригарной краски. Введение в смесь волокнистых "армирующих" добавок (асбест, опилки и др.)

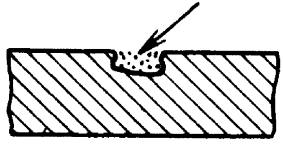
Продолжение табл. 2.3

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
7. ***Ужимина*** 	7.2. Неудовлетворительные физико-химические свойства формовочной смеси, низкая прочность зоны конденсации влаги	Снижение газотворности и повышение газопроницаемости смеси, применение выпоров, вентиляционных наколов. Повышение прочности и пластичности смеси. Использование высококачественных связующих. Уменьшение продолжительности выстаивания подсушенных и сухих форм перед заливкой
	7.3. Переуплотнение или неравномерное уплотнение смеси	Тщательный контроль степени уплотнения
	7.4. Медленная заливка жидкого металла в форму	Увеличение скорости заливки, изменение конструкции литниковой системы
	7.5. Большое давление газов в толще формы	Соблюдение режимов сушки форм, устройство вентиляционных каналов
	7.6. Большой гидравлический удар жидкого металла о поверхность формы	Снижение скорости заливки в конце заполнения формы. Изменение конструкции литниковой системы
	7.7. Некачественная отделка форм	Равномерное окрашивание форм, исключение отслоения краски при заливке и сушке

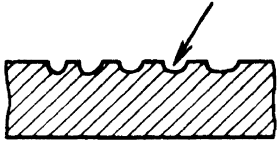
Продолжение табл. 2.3

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
8. ***Засор*** – дефект в виде формовочного материала, захваченного потоками жидкого металла и внедрившегося в поверхностный слой отливки  Отливки, пораженные засором, показаны на рис. 38 и 39 в Приложении 2	8.1. Размывание или разрушение стенок формы, стержня и элементов литниковой системы	Использование высокопрочных смесей для облицовки форм и литниковых каналов. Увеличение плотности формовочной смеси и степени ее уплотнения. Замена сырой формы на сухую или использование химически твердеющих смесей. Применение упрочняющих красок. Использование противопригарных красок с высокой эрозионной способностью при высоких температурах. Применение шамотных трубок для литниковой системы

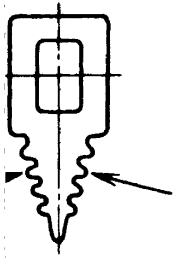
Продолжение табл. 2.3

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Засор 	8.2. Несовершенная технология формовки и заливки	Изменение положения отливки в форме при заливке, например, для снижения обгара, деформации поверхности и отрыва частиц формы, с горизонтального на наклонное или вертикальное. Изменение конструкции и места подвода литниковой системы. Использование фирам-процесса. Поддержание полного стояка до окончания заливки формы. Улучшение конструкции литниковой чаши
	8.3. Попадание формовочной смеси в полость формы	Изменение конструкции модельной оснастки (увеличение уклонов, галтелей). Сборка форм и стержней без ударов. Тщательная очистка полуформ перед их сборкой
9. ***Плена*** – дефект в виде самостоятельного или окисленного слоя на поверхности отливки, образовавшегося при недостаточно спокойной заливке	9.1. Неправильный подвод металла	Изменение конструкции литниковой системы, применение сифонной заливки

Продолжение табл. 2.3

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
На рис. 35 в Приложении 2 видно плену на поверхности отливки	9.2. Окисление металла при заливке и образование пленки окислов на поверхности потока металла	Создание восстановительной атмосферы в полости формы. Вакуумирование металла, заливка под слоем флюсов или в среде инертного газа (аргона), фильтрационное рафинирование. Контроль химического состава металла
	9.3. Заливка прерывистой струей	Не допускать разрыва струи заливаемого металла
10. ***Газовая шероховатость*** (ндп – *пузырчатость*) – дефект в виде сферообразных углублений на поверхности отливки, возникающий вследствие роста газовых раковин на поверхности раздела металл–форма  Поверхность отливки с газовой шероховатостью показана на рис. 40 в Приложении 2	То же, что и в пп. 4–6 (табл. 6)	То же, что и в пп. 4–6 (табл. 6)

Продолжение табл. 2.3

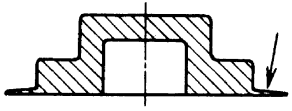
е и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
ндп – *пережог*) – дефект в слоя металла с поверхности егося после отжига из белого угун	11.1. Ускорение продолжительности отжига	Повышение содержание Si в чугуне. Обеспечение контроля химического состава чугуна
	11.2. Окислительная атмосфера в печи при отжиге	Проведение отжига в контролируемой защитной атмосфере
ь – дефект в виде незначи-озвышений и углублений на ки, возникающих вследствие отекучести металла 	12.1. Низкая температура заливки	Контроль температуры заливаемого металла
	12.2. Медленная заливка с прерыванием струи металла	Исключить прерывание струи металла, подобрать оптимальную скорость заполнения формы
	12.3. Низкая газопроницаемость формовочной смеси, неудовлетворительная вентиляция форм и стержней	Контроль газопроницаемости, наличия вентиляционных наколов и каналов, выпоров

Наименова

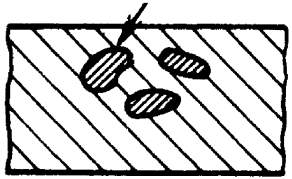
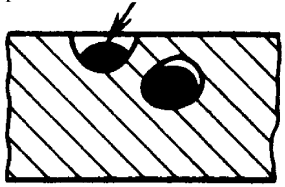
11. ***Окисление*** – виде окисленног отливки получив чугуна на ковкий

12. ***Складчатос*** тельных гладких поверхности отли пониженной жид

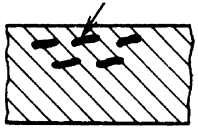
Продолжение табл. 2.3

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
13. ***Залив*** (ндп – *облой*) – дефект в виде металлического прилива или выступа, возникающего вследствие проникновения жидкого металла в зазоры по разъемам формы, стержней или стержневым знакам	13.1. Неисправная модельно-опочная оснастка	Устранение деформации модельных плит, опок, моделей и стержневых ящиков. Контроль зазоров между знаковыми частями формы и стержня
 Внешний вид отливки с заливом приведен на рис. 41 в Приложении 2	13.2. Небрежность в изготовлении форм и в подготовке их к заливке	Очистить от смеси и металла лад опоки, центрирующие втулки и штыри, поверхности разъема моделей и стержневых ящиков. Исключить деформацию стержней и форм при транспортировке и сушке. Контроль крепления полуформ и нагружени форм перед заливкой. Использование уплотнительных шнуров по линии разъема форм

2.4. Включения

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. ***Металлическое включение*** – дефект в виде инородного металлического включения, имеющего поверхность раздела с отливкой 	1.1. Неполное расплавление жеребеек внутренних холодильников	Повышение температуры заливаемого металла, очистка поверхности, контроль количества и массы, устанавливаемых жеребеек и внутренних холодильников
	1.2. Неполное расплавление ферросплавов и легирующих добавок	Соблюдение температурных и временных режимов плавки и разливки
2. ***Королек*** (ндп – *выпот*) – дефект в виде шарика металла, отдельно застывшего и несплавившегося с отливкой или образовавшегося брызгами при неправильной заливке 	2.1. Небрежная заливка отливок (перегрев и разбрызгивание струи и т.п.)	Соблюдение правил заливки, исключающих разрыв и разбрызгивание струи металла. Уменьшение высоты падения струи
	2.2. Неправильное устройство литниковой системы, обусловливающей дробление и разбрызгивание расплава	Изменение конструкции литниковой системы, уменьшение высоты падения металла

Продолжение табл. 2.4

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Возникновение корольков наиболее вероятно при заливке тонкостенных отливок в сырых песчаных формах, или при использовании металлических форм (см. рис. 42 в Приложении 2)	2.3. Использование ковшей с невысушенной футеровкой, особенно с сырым носиком, переувлажнение форм	Контроль прокалки и сушки ковшей и форм
3. ***Неметаллические включения*** – (ндп – *черные пятна*) – дефект в виде неметаллических частиц, попавших в металл механически или образовавшихся вследствие химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке металла  Неметаллические включения (НВ) в отливке – окислы, сульфиды, силикаты, нитриды – существенно влияют на механические свойства сплава. Особенно вредны НВ остроугольной формы и расположенные по границам зерен в виде пленок и цепочек (см. рис. 36 и 43 в Приложении 2).	3.1. Частицы формовочной смеси, огнеупоров или печного шлака, "запутавшиеся" в жидком металле при выпуске его из печи и во время заливки 3.2. Повышенное содержание растворимых включений (например, сульфидов в стали)	Очистка жидкого металла от шлака. Обработка флюсами и синтетическими шлаками. Фильтрация расплава. Продувка сплава инертным газом Перевод растворимых включений в нерастворимые для последующего их удаления (например, растворения). Ускорение затвердевания

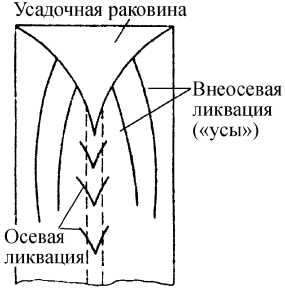
Продолжение табл. 2.4

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Влияние НВ на свойства чугуна несущественно, так как графит настолько ослабляет металлическую основу, что относительное влияние остальных включений невелико. В сталях же относительное влияние НВ проявляется очень резко. Особо следует отметить НВ, формирующиеся в отливках из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, состоящие преимущественно из сульфидов и окислов магния, и образующиеся в результате взаимодействия магния с серой и кислородом. Такие неметаллические включения видны в изломе отливок из высокопрочного чугуна в виде скоплений и отдельных темных включений (толщиной 0,01…10 мм), резко выделяющихся на фоне светло-серебристого металла. Отсюда и название их по старой классификации – "черные пятна". Располагаются эти дефекты главным образом в верхней части (по положению при заливке) отливок	3.3. Высокое содержание серы и одновременно магния в высокопрочном чугуне	Уменьшение в чугуне содержания магния и серы. Модифицирование цериевой лигатурой, уменьшающей количество шлаковых включений
	3.4. Несо людение режимов плавки и заливки: низкая температура металла, недостаточная выдержка в ковше	Соблюдение технологической инструкции плавки и заливки металла
	3.5. Наличие примесей в шихте	Использование чистой шихты

2.5. Дефекты несоответствия по структуре

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. ***Половинчатость*** (ндп – *отсер, половинчатый графит*) – дефект в виде появления структуры серого чугуна в отливках из белого чугуна.	1.1. Повышенное содержание C и Si	Контроль химического состава
Дефект характерен для отливок из белого чугуна и заключается в выделении в массивных частях отливок первичного графита в процессе кристаллизации расплава (см. рис. 44 в Приложении 2)	1.2. Замедление скорости охлаждения отливки в форме	Увеличение скорости охлаждения отливки: использование смесей с высокой теплопроводностью, применение холодильников
2. ***Отбел*** (ндп – *твердые места*) – дефект в виде твердых, трудноподдающихся обработке резанием мест в различных частях отливки из серого чугуна, вызванных скоплением структурно свободного цементита.	2.1. Пониженное содержание C и Si и повышенное содеражение карбидообразующих элементов (в частности, хрома, титана, марганца, ванадия)	Контроль химического состава, повышение содержания C и Si в пределах марки, использование шихты без Cr. Графитизирующий отжиг
Располагается в тонких частях отливок. Четко проявляется в изломе отливок в виде светлых участков на фоне более темных (от светло-серого до темно-серого цвета) участков, характерных для серого чугуна (см. рис. 46 в Приложении 2)	2.2. Неэффективное модифицирование	Повышение эффективности модифицирования за счет правильного выбора состава и массы модификатора

Продолжение табл. 2.5

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
	2.3. Высокая скорость охлаждения металла отливки	Снижение влажности формовочной смеси, снижение начальной температуры заливаемого металла
	2.4. Неправильный подвод металла (в толстую часть отливки)	Изменение места подвода металла
	2.5. Ранняя выбивка металла из формы	Соблюдение технологической инструкции на выбивку отливок
3. ***Ликвация*** – дефект в виде местных скоплений химических элементов или соединений в теле отливки, возникающих в результате избирательной кристаллизации при затвердевании 	3.1. Повышенное содержание ликвирующих элементов	Использование чистой по ликвирующим примесям шихты, соблюдение режимов плавки, внепечная обработка металла
	3.2. Медленное охлаждение и затвердевание металла	Ускорение процесса затвердевания отливки за счет применения смесей с высокой теплопроводностью, холодильников, металлических форм, облицованных кокилей, тонкостенных металлооболочковых форм, искусственного охлаждения, модифицирования, суспензионной заливки

Продолжение табл. 2.5

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Различают дендридную (см. рис. 40 в Приложении 1), осевую (V-образную) и внеосевую (Λ-образную) виды ликваций (см. рис. 45 в Приложении 2). Наиболее опасной и трудноустранимой является Λ-образная ликвация ("усы" и "шнуры")	3.3. Высокая температура заливки	Снижение температуры заливаемого металла, суспензионная заливка
	3.4. Неэффективное питание жидким металлом из прибыли в период затвердевания	Обеспечение направленности затвердевания, повышение эффективности работы прибыли: теплоизоляция, различные виды обогрева, электрошлаковая подпитка, доливка перегретого и чистого металла в прибыль
	3.5. Неправильные режимы термообработки	Изменение режима термообработки

Продолжение табл. 2.5

Наименование и определение дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
4. ***Флокены*** (ндп – *белые пятна*) – дефект в виде разрыва тела отливки под влиянием растворенного в стали водорода и внутренних напряжений, проходящего полностью или частично через объемы первичных зерен аустенита (см. рис. 47 в Приложении 2). Примечание. Флокены в изломе термически обработанной пробы (отливки) имеют вид сглаженных поверхностей без металлического блеска (матового цвета) на общем сером фоне волокнистой составляющей	4.1. Повышенное содержание водорода в стали	Избегать применения сырых шихтовых материалов. Обеспечение режима плавки, способствующего минимальному поглощению газа сталью: исключение сырой футеровки печей, желоба, ковшей, непрокаленных и влажных ферросплавов, вводимых в металл и др. Использование флюсов, дегазации, вакуумирования
	4.2. Неправильные режимы термообработки	Изменение режима термообработки
	4.3. Высокая скорость охлаждения и затвердевания отливки, вызывающая внутренние напряжения, обусловленные структурными превращениями и разным временем появления по объему отливки термической усадки	Замедление процесса охлаждения и затвердевания отливок или достаточная выдержка их в опоках

т.е. как следствие влияния литейных дефектов и отклонений химического состава при их раздельном и совместном влиянии.

Принятая терминология широко используется также для отливок из цветных металлов и сплавов, а следовательно, может рассматриваться как универсальная, независимо от состава сплава и способа литья.

Классификация дефектов в соответствии с ГОСТ 19200–80, причины их образования и меры предупреждения приведены в табл. 2.1–2.5 [11, 15, 17], схема большинства дефектов в отливках показана на рисунках, стрелки указывают на расположение дефекта. Внешний вид отливок с дефектами приведен в Приложении 2.

Контрольные вопросы

1. Назовите классификацию дефектов.
2. Перечислите основные виды дефектов несоответствия по геометрии.
3. Что такое недолив, причины образования и меры предупреждения?
4. Неслитина, как избежать образование этого дефекта?
5. Коробление, основные факторы, влияющие на образование дефекта?
6. Перечислите дефекты, нарушающие сплошность металла отливки.
7. Горячие и холодные трещины – определение, отличия, почему они образуются и как их предупредить?
8. Газовые дефекты – определение, отличие, как их избежать?
9. Назовите виды усадочных дефектов, дайте их определение, перечислите основные причины образования и способы предупреждения.
10. Какие дефекты связаны с усадкой отливки?
11. Причины образования и меры предупреждения песчаных и шлаковых раковин.
12. Что такое пригар, виды пригара, основные причины, влияющие на пригар?

13. Что такое спай, причины образования и меры предупреждения?

14. Почему образуются ужимины, дайте характеристику дефекта?

15. Как избежать образования залива и что это такое?

16. Почему возникает засор, что влияет на причины его появления?

17. Плена. Причины образования и меры предупреждения.

18. Почему образуется просечка?

19. Какие включения могут возникнуть в отливке?

20. Что такое королек, причины образования и меры предупреждения?

21. Какие неметаллические включения можете назвать? Причины образования и меры предупреждения? Как влияют на качество отливок и почему?

22. Назовите дефекты несоответствия структуры.

23. Что такое отбел, как его предупредить? Какие сплавы и отливки наиболее склонны к отбелу? В каких случаях отбел желателен?

24. Для каких сплавов и отливок характерен дефект половинчатости, как его предупредить?

25. Что такое ликвация? Причины образования. Виды ликвации и меры предупреждения. Назовите наиболее ликвирующие элементы.

26. Что такое флокен, для каких сплавов характерен этот дефект? Основные причины образования и меры предупреждения.

Глава 3

ДЕФЕКТЫ ОТЛИВОК, ПОЛУЧАЕМЫХ СПЕЦИАЛЬНЫМИ СПОСОБАМИ ЛИТЬЯ

Классификация дефектов по ГОСТ 19200–80 распространяется прежде всего на отливки, получаемые в традиционных объемных песчаных формах при заливке по-сырому и по-сухому, а также в холоднотвердеющих и жидких самотвердеющих смесях.

Дефекты в отливках, полученных разными способами литья, в том числе и специальными, из различных сплавов в большинстве случаев одинаковы. Это дефекты усадочного происхождения (раковины, пористость, рыхлоты, трещины), газовые раковины и пористость, неметаллические включения, пригар, окисные плены и др. Однако причины их образования и меры по устранению могут быть различны из-за специфических особенностей технологии того или иного способа литья. В ряде случаев наименование дефектов отличается от общепринятых по ГОСТ 19200–80.

3.1. ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

Согласно ГОСТ 17819–84 ***кокиль*** – это металлическая форма с естественным или принудительным охлаждением, которая заполняется расплавленным металлом под действием гравитационных сил. В отличие от разовой песчаной формы кокиль может быть использован многократно.

Процесс получения отливки при литье в кокиль включает следующие основные операции.

1. Подготовка рабочей полости кокиля и проверка его общего состояния.

2. Подогрев кокиля и нанесение огнеупорного покрытия.

На поверхность рабочей полости кокиля наносят слой огнеупорного покрытия – облицовку или краску. Перед нанесением огнеупорного покрытия кокиль нагревают газовыми горелками или электрическими нагревателями до 140…180 °С.

Состав облицовок и красок зависит в основном от заливаемого сплава, а их толщина – от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее охлаждается отливка. Слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, расплавления и сваривания с металлом отливки. Таким образом, облицовки и краски выполняют две функции: защищают поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой и позволяют регулировать скорость охлаждения отливки, влияющую на свойства металла последней.

3. Вторичный подогрев кокиля.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, которая зависит от состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, ее размеров, а также требуемых свойств.

4. Сборка кокиля, заливка металлом и выбивка отливки.

Перед повторением цикла осматривают рабочую поверхность кокиля и плоскость разъема. Обычно огнеупорную краску наносят на рабочую поверхность кокиля 1–2 раза в смену, изредка восстанавливая ее в местах, где она отслоилась от рабочей поверхности.

По конструктивным признакам существует следующая классификация кокилей.

В зависимости от расположения поверхности разъема они делятся на неразъемные (вытряхные) и разъемные, которые в свою очередь бывают с вертикальной плоскостью разъема, горизонтальной плоскостью разъема, со сложной (комбинированной) поверхностью разъема. Тип разъема кокиля зависит от конфигурации, размеров и массы отливок.

По числу рабочих полостей (*гнезд*), определяющих возможность одновременного изготовления того или иного количества отливок, кокили разделяют на одноместные и многоместные.

В зависимости от способа охлаждения различают кокили с воздушным (естественным или принудительным), жидкостным (водяным, масляным) и комбинированным (водовоздушным) охлаждением.

По конструктивному исполнению рабочих стенок они бывают цельные и составные (из нормализованных элементов, игольчатые кокили).

По материалу рабочей стенки различают кокили чугунные, стальные, из алюминиевых сплавов, из меди и ее сплавов, из специальных сплавов и композитных материалов.

Литьем в кокиль успешно получают отливки из алюминиевых, магниевых и медных сплавов, а также из серого и высокопрочного чугунов, реже из ковкого чугуна и стали.

Широкое применение процесса литья в кокиль обусловлено его несомненными преимуществами перед традиционными способами изготовления отливок. Главные из них относятся к эффективности процесса литья и к качеству отливок: улучшение условий труда, высокая производительность, повышение точности по массе и размерной точности, высокие механические свойства и чистота поверхности отливок.

По сравнению с литьем в песчаные формы количество дефектов и брак отливок при кокильном литье обычно существенно ниже.

Основной причиной появления дефектов отливок, изготовляемых в песчаных формах, является применение формовочных смесей, недостаточное их уплотнение. Эти дефекты при кокильном литье отсутствуют. Однако появляется ряд других дефектов, связанных с особенностями кокильной технологии и, в первую очередь, с неподатливостью, негазопроницаемостью металлических форм и высокой скоростью охлаждения отливок в них.

Характерные дефекты при литье в кокиль, причины их появления и меры по предупреждению приведены в табл. 3.1 [7, 15].

3.1. Характерные дефекты при литье в кокиль

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Залив	Прорыв металла вследствие неплотного закрывания кокиля	Тщательная очистка разъема кокиля после выбивки отливки
	Недостаточное давление в пневматическом цилиндре привода	Проверка давления в воздушной сети, смазка центрирующих штырей и направляющих станка
	Неправильная установка или износ центрирующих штырей	Ремонт центрирующих штырей
	Коробление частей кокиля	Ремонт, шлифовка плоскостей разъема кокиля
	Неправильный размер знаков песчаных стержней	Проверка и исправление стержневого ящика
	Поломка или износ знаков стержня	Контроль за стержнями
	Слишком близкое расположение рабочей полости к краю отливки	Изменение конструкции кокиля
Отбел (на чугунном литье)	Отклонение состава металла от заданного	Контроль шихтовых материалов и химического состава металла

Продолжение табл. 3.1

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Отбел (на чугунном литье)	Нарушение температурного и временного режимов плавки, модифицирования, раскисления, заливки и термообработки	Соблюдение для конкретных условий производства режима плавки и термообработки, состава, качества и режима ввода модификаторов и раскислителей, снижение температуры заливаемого металла
	Несоответствие начальной температуры кокиля заданной, нарушение технологического процесса приготовления и нанесения теплозащитного покрытия кокиля	Повышение начальной температуры кокиля и толщины теплозащитного покрытия кокиля, использование раздвижных кокилей
Газовые раковины и пористость	Повышенная газонасыщенность расплава	Подсушка шихты, изменение состава шихты, повышение температуры перегрева, тщательное раскисление и дегазация расплава, прокалка разливочных ковшей

Продолжение табл. 3.1

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины и пористость	Подсос воздуха при заливке	Изменение конструкции литниковой системы с целью исключения возможного отрыва струи от поверхности кокиля и разбрызгивания расплава при движении в рабочей полости кокиля
	Недостаточная вентиляция рабочей полости кокиля	Увеличение площади сечения вентиляционных отверстий и выпоров, устройство дополнительных газоотводных каналов
	Холодный кокиль и непросушенное теплозащитное покрытие кокиля	Подогрев кокиля, тщательное просушивание покрытия
	Низкая температура заливаемого металла	Повышение температуры заливаемого металла
	Перегретый кокиль	Охлаждение кокиля до заданной температуры, поддержание оптимальной частоты заливки и режима охлаждения формы
	Значительный разгар и сильное охлаждение рабочей поверхности кокиля	Ликвидация сетки трещин (например, обработка резанием), очистка кокиля, его консервация при хранении

Продолжение табл. 3.1

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины и пористость	Повышенная газотворность и низкая газопроницаемость песчаного стержня	Снижение газотворной способности связующего, тщательное высушивание (отверждение стержня), снижение скорости заливки, повышение газопроницаемости стержневой смеси
	Недостаточная вентиляционная способность песчаного стержня	Применение песка крупной фракции, увеличение длины и количества вентиляционных каналов
Неметаллические включения	Попадание шлака в рабочую полость кокиля	Тщательная очистка расплава от шлака, заливка "под пробку", применение фильтровальных сеток
	Эрозия теплозащитного покрытия кокиля	Повышение теплостойкости покрытия
	Окисление заливаемого металла	Обеспечение плавной заливки; создание в рабочей полости кокиля восстановительной атмосферы
	Образование в отливках из чугуна с шаровидным графитом соединений MgS и MgO ("черные пятна")	Применение низкосернистого чугуна, обработка чугуна криолитом в ковше и непосредственно в кокиле (из расчета 0,01…0,05 % от массы расплава)

Продолжение табл. 3.1

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Неметалличес-кие включе-ния	Ликвация графита в чугуне с шаровидным графитом	Понижение углеродного эквивалента до 4,35 % при толщине стенки от-ливки 20…25 мм и до 4,5 % при толщине стенки отливки ~ 5 мм
Недолив и спай	Недостаточная жид-котекучесть заливае-мого металла	Повышение температу-ры и изменение состава расплава
	Большая протяжен-ность каналов литни-ковой системы	Устройство литниковой системы с короткими каналами (например, заливка сверху)
	Ускоренное охлажде-ние металла при дви-жении в литниковой системе	Повышение начальной температуры кокиля, тщательное нанесение теплозащитного покры-тия на литниковую сис-тему, утолщение тепло-защитного покрытия
Трещины	Нетехнологичность конструкции отливки	Переработка конструк-ции отливки с учетом требований литья в ко-киль
	Разъем кокиля по кромке отливки	Смещение поверхности разъема на расстояние не менее 2…3 мм от кромки отливки
	Местный перегрев отливки	Рассредоточение под-вода металла

Продолжение табл. 3.1

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Трещины	Недостаточная податливость формы	Применение податливых песчаных стержней, раннее извлечение из отливки и "подрыв" металлических стержней, а также раннее раскрепление кокиля и извлечение отливки; использование нормализованных кокилей, увеличение слоя краски
	Повышенный коэффициент трения отливки о стенки кокиля	Применение теплозащитных покрытий с низким коэффициентом трения
	Залив металла по поверхностям сопряжения частей кокиля	Тщательная сборка кокиля, подгонка его частей
	Ускоренное и неравномерное охлаждение отливки после извлечения из кокиля	Замедление охлаждения отливки, например, помещение ее в термостат
Усадочные раковины и пористость	Нетехнологичность конструкции отливки	Изменение конструкции отливки с целью обеспечения условий ее направленного и последовательного затвердевания

Продолжение табл. 3.1

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Усадочные раковины и пористость	Нарушение заданной интенсивности охлаждения элементов отливки	Восстановление толщины и состава теплозащитного покрытия кокиля
	Нарушение оптимального состава металла, режима модифицирования, раскисления и заливки	Соблюдение установленных для конкретных условий производства и вида расплава режимных параметров
Смешанная форма графита в отливках из чугуна с шаровидным графитом	Присутствие в чугуне антимодифицирующих элементов, недостаточное количество введенного магния, длительная выдержка жидкого чугуна в ковше после обработки его магнием	Количество вводимого в чугун магния должно определяться с учетом химического состава чугуна, особенно содержания серы в исходном чугуне. При вводе магния в открытые ковши его количество необходимо увеличивать по сравнению с вводом магния в автоклавы или герметичные ковши. При получении толстостенных отливок требуется большее количество магния

3.2. ЛИТЬЕ В ОБЛИЦОВАННЫЙ КОКИЛЬ

Экономическая эффективность прогрессивного метода литья в кокиль в значительной степени определяется стойкостью кокилей. Известно, что кокили выходят из строя в основном из-за трещин и газовой коррозии рабочей поверхности. Во время заливки металла рабочая поверхность кокиля, мгновенно нагревается до высоких температур, в то время как нижележащие слои материала кокиля остаются сравнительно холодными. Вследствие этого в расширяющемся от нагревания слое кокиля возникают сжимающие напряжения, а во внутренних – растягивающие. Чередующиеся пластические деформации материала рабочей поверхности кокиля приводят к образованию мелких трещин в виде так называемой *сетки разгара*.

Для защиты кокиля от воздействия высоких температур, особенно при заливке чугуном и сталью, регулирования теплового режима формирующейся в кокиле отливки разработан новый способ литья – литье в облицованный кокиль (или литье в металлооболочковые формы).

Облицованный кокиль – это кокиль с относительно толстым облицовочным слоем формовочной смеси (не менее 4…6 мм), наносимым по модели на шероховатую (необработанную) рабочую поверхность кокиля.

В качестве облицовок (облицовочного слоя) применяют сыпучие смеси на термореактивном связующем, жидкие самотвердеющие смеси (ЖСС) и керамические смеси.

В условиях крупносерийного производства используют сыпучие песчано-смоляные смеси с содержанием 2,5…3,0 % пульвербакелита.

Для нанесения облицовки на рабочую поверхность кокиля его устанавливают на модельную плиту с металлической моделью таким образом, чтобы между поверхностями кокиля и модели оставался зазор, равный толщине облицовки. Кокиль и модель с модельной плитой предварительно нагревают до 200…220 °С. Для отделения модели отливки от облицовки поверхность модели покрывают разделительной смазкой СКТ и СКТР.

Заполнение зазора между моделью и кокилем сыпучей смесью осуществляют вдуванием в зазор указанной смеси на пескодувных машинах. После вдувания смесь отверждается за счет теплоты модельной оснастки и кокиля, и таким образом формируется облицовочный слой. Затем кокиль с облицовкой снимают с модельной плиты. Аналогично выполняют вторую половину кокиля. Две половинки кокиля собирают и устанавливают под заливку. После заливки расплава, затвердевания и охлаждения отливки кокиль разбирают и отливку удаляют. При этом частично удаляется часть облицовки.

При использовании ЖСС облицовочный слой получают путем выдавливания смеси в зазор между моделью отливки и кокилем или под давлением сжатого воздуха. Модель из кокиля удаляют после того, как смесь приобретает достаточную прочность, для чего требуется 20…30 мин.

Окончательное затвердевание облицовочного слоя происходит на воздухе. Оптимальными технологическими параметрами в этом случае являются следующие: толщина облицовочного слоя 10…20 мм, скорость нагружения модели 10…15 см/с, давление сжатого воздуха $(0{,}3…0{,}8) \cdot 10^5$ Па.

При использовании в качестве облицовочного слоя керамической смеси, из-за высокой текучести керамической суспензии можно получать практически любой слой облицовки (от 3…5 до 15…20 мм) даже при производстве крупногабаритных отливок. После удаления модели керамический облицовочный слой прокаливают при $T = 800…900$ °С (так же, как и при Шоу-процессе).

При использовании ЖСС и керамической смеси предпочтительная область применения – серийное, иногда мелкосерийное, производство, когда к отливкам предъявляют высокие требования.

Литье в облицованный кокиль имеет свои специфические особенности при формировании отливки.

По сравнению с обычным кокилем в облицованном толщина облицовочного слоя больше, что позволяет существенно снизить скорость охлаждения расплава. Это особенно важно при изготовлении отливок из чугуна для снижения отбела.

Изменяя толщину облицовочного слоя, можно регулировать скорость охлаждения отдельных частей отливки и создавать направленное затвердевание.

Повышенная жесткость формы по сравнению с песчаной обеспечивает точность отливок и способствует уменьшению усадочных пор и повышению плотности чугунных отливок.

В то же время песчаная облицовка придает жесткому кокилю некоторую податливость, уменьшая внутренние напряжения в отливках.

Основные дефекты при литье в облицованный кокиль приведены в табл. 3.2 [7].

3.2. Основные дефекты при литье в облицованный кокиль

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Местный пригар	Рыхлоты и неплотности облицовки	Выполнение в кокиле дополнительных вентиляционных каналов преимущественно в местах встречи потоков вдуваемой или заливаемой смеси Снижение температуры оснастки Прочистка вдувных отверстий и обеспечение полного открытия вдувных отверстий при подаче облицовочной смеси Соблюдение установочных значений давления воздуха и продолжительности вдува облицовочной смеси (при использовании пескодувного процесса). Устранение нагрева стенок пескодувной головки (не выше +35 °С) и обезвоживание сжатого воздуха

Продолжение табл. 3.2

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Местный пригар	Повышенная осыпаемость и пониженная термостойкость облицовки	Снижение продолжительности и температуры отверждения песчано-смоляной смеси Снижение содержания уротропина в смоляном связующем Сокращение продолжительности отверждения
	Крупнозернистость песка облицовочной смеси	Переход на мелкозернистый песок
Песчаные раковины и засоры	Повышенная осыпаемость и пониженная термостойкость облицовки	То же, что для предупреждения местного пригара
	Механическое повреждение облицовки при сборке формы	Обеспечение плавности смыкания частей, собираемых под заливку кокилей
Газовые раковины и пористость	Повышенная газотворность облицовки	Снижение газотворной способности компонентов облицовочной смеси, соблюдение установленных режимов отверждения облицовочной смеси или прокалки при использование керамической смеси

Продолжение табл. 3.2

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины и пористость	Недостаточная вентиляционная способность кокиля	Выполнение в форме дополнительных вентиляционных каналов, выпоров и т.д.
Трещины	Термические напряжения	Уменьшение перепадов температуры между элементами отливки и скорости охлаждения путем дифференцированного выбора толщины облицовки
	Торможение усадки	Уменьшение времени пребывания отливки в кокиле; утолщение облицовки на участках торможения усадки

3.3. ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Для осуществления процесса литья под давлением (ЛПД) необходимы специальная машина, металлическая пресс-форма и установка для приготовления расплава.

Сущность ЛПД заключается в том, что металлическая форма, называемая пресс-формой, заполняется расплавом под действием внешних сил, которые превосходят силы гравитации, а затвердевание отливки протекает под избыточным давлением. Избыточное давление создают с помощью поршня в камере прессования, которая соединена с полостью прес-формы через литниковую систему.

В зависимости от устройства камеры прессования различают процессы литья на машинах с холодной и горячей камерами прессования.

Камера прессования на машинах ЛПД может быть расположена горизонтально или вертикально. Соответственно и машины для литья под давлением называются машинами с горизонтальной или вертикальной камерами прессования.

Машины с горизонтальной холодной камерой прессования позволяют развивать бóльшие силы запирания и прессования, могут иметь бóльшие камеры прессования. Поэтому такие машины используют для изготовления отливок из алюминиевых, медных и магниевых сплавов, чугуна и стали. Однако на таких машинах трудно получать особо мелкие точные отливки, так как расплав быстро охлаждается в камере прессования и заполняемость форм ухудшается.

Машины с вертикальной горячей камерой прессования лишены этого недостатка, и их используют преимущественно для изготовления мелких, небольших отливок с тонкими стенками. Получать на этих машинах крупные отливки сложно, так как в камерах прессования, работающих в расплаве, трудно создавать высокое давление прессования, необходимое для получения крупногабаритных отливок.

Машины с холодной горизонтальной камерой прессования находят наибольшее применение, что объясняется простотой и надежностью конструкции камеры прессования и более высокой производительностью, чем машины с вертикальной камерой, так как поршень выталкивает пресс-остаток в период раскрытия пресс-формы без дополнительных затрат времени.

Скорость впуска расплава составляет 0,5…120 м/с, конечное давление на расплав достигает 100…600 МПа. Форма заполняется за десятые, а часто и за сотые доли секунды.

Литье под давлением – один из высокопроизводительных способов изготовления отливок высокой точности с хорошей чистотой поверхности. Высокая скорость движения расплава позволяет

резко сократить продолжительность заполнения, улучшить заполняемость и получать тонкостенные отливки сложной конфигурации.

Большое давление на затвердевающий расплав и высокие скорости охлаждения его в металлической форме способствуют измельчению структуры металла в отливке, уменьшению усадочных дефектов, повышению механических свойств и получению тонкостенных, сложных по конфигурации отливок.

Способом ЛПД изготовляют отливки из цинковых, алюминиевых, магниевых и медных сплавов, реже из чугуна и стали. Наиболее широко этот способ используют для получения тонкостенных отливок из алюминиевых сплавов массой от нескольких граммов до 9…10 кг. Минимальная толщина стенки отливки меньше 1 мм.

Качество отливок определяется скоростью впуска металла в пресс-форму, характером движения расплава (ламинарного, турбулентного и дисперсного), давлением прессования и способом подпрессовки (обычный прессующий поршень, с мультипликацией давления и двойной плунжер – Аккурад-процесс), тепловыми условиями формирования отливки, газовым режимом пресс-формы.

Дефекты в отливках, получаемых литьем под давлением, могут быть связаны как с качеством приготовленного сплава, так и с особенностями технологического процесса, присущими данному способу литья. Наиболее распространенным дефектом отливок, изготовленных ЛПД, является газовая пористость.

Детали, изготовленные ЛПД, редко подвергают термической обработке, особенно высокотемпературной (закалке и др.). Это объясняется тем, что при нагреве до высоких температур сплав теряет прочность и сжатый воздух, расширяясь, деформирует стенку отливки, образуя вздутия и пузыри, что является существенным недостатком литья под давлением. При этом способе различают дефекты по геометрии, несплошности в теле отливки и дефекты поверхности (табл. 3.3) [2, 7, 15].

3.3. Характерные дефекты в отливках, изготовленных под давлением

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Трещины	Задержка раскрытия пресс-формы	Ускорить раскрытие пресс-формы, повысить темп работы
	Высокая температура заливки металла	Снизить температуру заливки
	Высокое содержание вредных примесей (железа – в алюминиевых сплавах, берилия – в медных сплавах)	Снизить содержание вредных примесей
	Низкая температура пресс-формы	Повысить температуру пресс-формы
	Провисание пресс-формы	Укрепить пресс-форму
	Неоднородность микроструктуры	Тщательное раскисление и перемешивание расплава перед заливкой, реолитье, тиксолитье
Узорчатая поверхность "мороз", следы потоков металла	Чрезмерно тонкий питатель	Увеличить толщину питателя
	Холодная пресс-форма	Повысить темп работы
	Малая скорость прессования	Повысить скорость прессования
Приваривание сплава к пресс-форме	Низкая твердость рабочей поверхности пресс-формы	Воронить, азотировать рабочую поверхность пресс-формы

Продолжение табл. 3.3

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Задир на поверхности пресс-формы	Местный перегрев пресс-формы	Изменить подвод металла в форму, повысить содержание железа в сплаве
	Плохая вентиляция формы	Увеличить число вентиляционных каналов, установить промывники
Нечеткое оформление рельефа отливки	Малое давление прессования	Повысить давление прессования
	Низкая температура пресс-формы	Повысить темп работы
	Малое сечение питателей	Увеличить сечение питателей
	Большое гидравлическое сопротивление в полости пресс-формы	Изменить конструкцию отливки (устранить резкие переходы и слишком тонкие сечения), увеличить сечения вентиляционных каналов
Газовые раковины и пористость	Высокая скорость прессования	Снизить скорость прессования
	Излишняя смазка пресс-формы	Уменьшить количество смазки
	Нерациональная конструкция литниковой системы (малая толщина питателей, неудачный подвод металла к отливке)	Улучшить литниково-вентиляционную систему (увеличить толщину питателей, изменить место подвода металла к отливке)

Продолжение табл. 3.3

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины и пористость	Попадание в металл газов из камеры прессования, литниковых каналов и полости пресс-формы, недостаточная вентиляция пресс-формы	Улучшить местную и общую вентиляцию пресс-формы, поставить промывники, увеличить продолжительность прессования и подпрессовки. Применять литье с использованием вакуума и регулированием состава газов (кислородный и гелевый процессы)
	Попадание воздуха и газов смазки при дисперсном заполнении с недостаточно высокой скоростью потока	Увеличить скорость впуска, дисперсность потока и сечение вентиляционных каналов по плоскости разъема пресс-формы, снизить захват газов в камере прессования
	Выделение газов из раствора при затвердевании отливки	Улучшить дегазацию расплава в раздаточной печи, увеличить скорость затвердевания отливки интенсификацией охлаждения пресс-формы
Усадочные раковины и пористость	Нетехнологичность конструкции отливки (неравномерность и резкие переходы между сечениями отливки)	Обеспечить равномерную толщину стенок отливки, увеличить сечение питателя и силу подпрессовки

Продолжение табл. 3.3

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Усадочные раковины и пористость	Высокая температура заливки металла	Снизить температуру заливки металла
	Высокая усадка сплава	Заменить сплав, снизить температуру заливки
	Недостаточное усилие прессования	Увеличить давление прессования, применить мультипликацию давления с помощью дополнительного гидроцилиндра и двойного поршня
Неслитина, спай	Затвердевание металла на передних участках встречных потоков в результате их преждевременного охлаждения	Увеличить скорость впускного потока; сократить продолжительность заполнения; изменить подвод металла к отливке, ликвидируя встречные потоки; повысить темп работы и силу подпрессовки
	Противодавление воздуха и газообразных продуктов смазки в полости пресс-формы	Увеличить сечение вентиляционных каналов, добавить промывники, увеличить продолжительность подпрессовки

Продолжение табл. 3.3

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Недолив	Преждевременное охлаждение и затвердевание металла	Повысить температуру заливки и пресс-формы, увеличить скорости прессования и впуска
	Чрезмерное противодавление газов в полости пресс-формы	Поставить вентиляционные фильтры в глухих полостях пресс-формы и промывники большего объема в местах недолива
	Недостаточное количество заливаемого металла	Увеличить объем дозы и толщину пресс-остатка, а также диаметр камеры прессования
Увеличенные размеры отливки. Несоответствие геометрии отливки требованиям чертежа	Отход подвижной половины формы при прессовании. Неправильное определение величины усадки	Проверить силу запирания пресс-формы. Уточнить выбранную величину усадки

3.4. ЛИТЬЕ ПОД РЕГУЛИРУЕМЫМ ГАЗОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ

К литью под регулируемым газовым давлением относятся следующие способы:

– литье под низким давлением;

– литье с противодавлением;

– вакуумно-компрессионное литье;

– литье вакуумным всасыванием.

Литье под низким давлением. Принцип литья под низким давлением заключается в следующем. Тигель с расплавом в раздаточной печи (камере) установки герметично закрывают крышкой, в которой установлен металлопровод. Металлопровод погружают в расплав. На крышку устанавливают форму, которая через литниковую систему соединяется с металлопроводом.

Воздух или инертный газ под давлением (обычно не превышающим 0,1 МПа) подают внутрь герметичной камеры установки, где находится жидкий металл. Из-за разницы между давлением в камере установки и атмосферным давлением в форме расплав поступает в форму снизу через металлопровод. По окончании заполнения формы и затвердевания отливки давление воздуха в камере снижают до атмосферного и незатвердевший расплав из металлопровода сливается в тигель. После этого форму раскрывают, отливку извлекают и цикл повторяют.

Давление воздуха на расплав в тигле способствует постоянной подпитке усаживающей отливки, в результате чего уменьшается пористость, возрастает плотность и повышаются механические свойства отливки.

Литье под низким давлением наиболее широко применяют для изготовления сложных фасонных и особенно тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, простых отливок из медных сплавов и стали в серийном и массовом производстве.

Литье с противодавлением. Установка для литья с противодавлением состоит из двух камер. В нижней камере, устройство которой аналогично герметичной камере установки литья под низким давлением, расположен тигель с расплавом. В верхней камере

находится форма, обычно металлическая. Камеры разделены герметичной крышкой, через которую проходит металлопровод, соединяющий тигель и форму.

В начальный момент сжатый воздух или инертный газ под одинаковым давлением, например 0,5…0,6 МПа, поступает в обе камеры. Поэтому расплав в тигле остается неподвижным. После этого давление в верхней камере понижают, но оставляют избыточным, и под действием разности давлений в камерах (0,04… 0,12 МПа) расплав поднимается по металлопроводу и заполняет форму. Таким образом, литье с противодавлением отличается от литья под низким давлением тем, что еще перед заполнением в форме создают газовое (воздушное) давление (противодавление), действующее против направления движения заполняющего форму расплава.

После заполнения формы расплав затвердевает под избыточным всесторонним давлением, что позволяет значительно повысить качество отливок за счет улучшения питания отливки, уменьшения усадочной и газовой пористости, повышения механических свойств, герметичности отливки.

Таким образом, по существу в этом процессе литья совмещены два способа: способ литья под низким давлением, используемый для заполнения полости формы, и способ кристаллизации отливок под всесторонним давлением газа или воздуха.

Закономерности процесса заполнения формы и расчетные зависимости при литье с противодавлением аналогичны литью под низким давлением.

Литье с противодавлением наиболее эффективно при изготовлении отливок с массивными стенками равномерной толщины (10…30 мм) из алюминиевых и магниевых сплавов, кристаллизующихся в широком интервале температур. Использование второй стадии процесса – кристаллизации под всесторонним избыточным давлением – для тонкостенных отливок не всегда приводит к заметному улучшению их свойств. Это объясняется тем, что при кристаллизации тонкостенных отливок, отливка может затвердеть раньше, чем давление в верхней камере установки достигнет необходимой величины.

Литье вакуумным всасыванием. Литье фасонных отливок вакуумным всасыванием осуществляют на установках, конструктивно аналогичных установкам, используемым при литье с противодавлением.

Сущность процесса литья вакуумным всасыванием состоит в том, что в герметичной верхней камере, где находится форма, создают разрежение, а в нижней камере, где находится жидкий металл, поддерживают атмосферное давление. В результате расплав под действием разрежения, создаваемого в полости формы, через металлопровод заполняет ее и затвердевает, образуя отливку. Изменением разности между атмосферным давлением и давлением в полости формы можно регулировать скорость заполнения формы расплавом.

Вакуумирование полости форм при заливке позволяет заполнять формы тонкостенных отливок с толщиной стенки 1…1,5 мм, исключить попадание воздуха в расплав, повысить точность, герметичность и механические свойства отливок.

Вакуумно-компрессионное литье. Установка для вакуумно-компрессионного литья состоит из двух герметичных камер. В верхней камере располагается форма. В нижней камере – тигель с жидким металлом. Камеры формы и тигля соединяют с вакуумной системой и осуществляют дегазацию сплава и формы. По окончании дегазации давление в камере с формой постепенно снижают: создается разница давлений в нижней и верхней камерах, благодаря чему происходит всасывание расплава из тигля через металлопровод в полость формы. Разница давлений в камерах с формой и тиглем обычно не превышает 25 КПа.

После заполнения формы отверстие металлопровода перекрывают, и в камеру с формой подают сжатый воздух, отливка затвердевает под всесторонним давлением. Избыточное давление в верхней камере становится выше давления газов в растворе, поэтому газы из него не выделяются, а остаются в отливке в виде раствора, не образуют в ней газовой пористости и не снижают механические свойства. Этим способом получают сложные отливки без пористости с высокими механическими свойствами.

К литью под регулируемым газовым давлением относятся три способа литья: литье под низким давлением, литье с противодавлением и литье вакуумным всасыванием. Объединяющим технологическим признаком этих способов является заливка формы вытеснением (всасыванием) жидкого металла снизу вверх из тигля установки через металлопровод под действием создаваемого в них перепада давления.

Гидравлические параметры процесса заполнения формы и тепловые условия формирования отливки во многом аналогичны для всех способов литья под регулируемым давлением. Следовательно, дефекты, возникающие при этих способах литья, причины возникновения и меры по предупреждению можно считать одинаковыми (табл. 3.4) [7].

3.4. Возможные дефекты отливок, изготовленных литьем под регулируемым газовым давлением

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины и пористость	Повышенная скорость заполнения формы	Уменьшить скорость заполнения формы
	Недостаточная вентиляция формы	Прочистить венты, ввести дополнительную вентиляцию
	Использование краски с высокой газотворной способностью	Заменить краску
	Некачественная покраска, наличие невентилируемых островков краски	Нанести сплошной слой краски, вентилируемый через плоскость разъема формы, венты, толкатели; выбрать оптимальную толщину покрытия

Продолжение табл. 3.4

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины и пористость	Сырой песчаный стержень	Проверить качество сушки стержней
	Газовыделение из материала формы или стержня на неокрашенных участках	Нанести слой краски на соответствующие участки формы и стержня
	Чрезмерная газонасыщенность расплава	Рафинировать расплав
	Попадание влаги, ржавчины или масла на рабочую поверхность формы	Убрать влагу, ржавчину и масло с рабочей поверхности формы, устранить причину их появления
	Проникновение сжатого воздуха в металлопровод из-за падения уровня расплава ниже допустимого или потери герметичности металлопровода	Залить новую порцию расплава в заливочный агрегат, заменить металлопровод новым, проверив его на герметичность
Шлаковые раковины и плены	Повышенная загрязненность расплава, малое расстояние между металлопроводом и днищем, пленообразование в металлопроводе	Очистить тигель, рафинировать расплав, укоротить металлопровод, устранить образование плен в металлопроводе (обдув инертным газом, поддержание уровня расплава у верхнего торца), установить сетку или фильтр в литниковом канале

Продолжение табл. 3.4

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Неметаллические включения	Некачественное рафинирование расплава	Тщательно рафинировать расплав
Засор	Высокая осыпаемость стержня	Проверить качество стержней
Усадочные раковины, пористость и утяжина	Нарушение принципа направленности затвердевания отливки	Доработать конструкцию отливки и формы, провести дифференцированную покраску рабочей поверхности, использовать другие меры регулируемого теплоотвода
	Преждевременное затвердевание расплава в металлопроводе	Проверить исправность обогрева металлопровода, улучшить его теплоизоляцию, повысить мощность нагревателей
	Преждевременный сброс давления	Увеличить продолжительность затвердевания отливки под избыточным давлением
	Местный перегрев формы или стержня	Обеспечить равномерность нагрева формы и охлаждения стержня

Продолжение табл. 3.4

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Искривление поверхности при нормальном питании отливки	Коробление затвердевающей корочки из-за неравномерного теплоотвода или неравномерного выталкивания из формы толкателями	Обеспечить равномерность теплоотвода, повысить величину и скорость нарастания избыточного давления, отрегулировать ход толкателей
Недолив, спай	Низкая температура расплава	Повысить температуру расплава
	Нарушена покраска формы	Восстановить нормальный слой краски
	Недостаточная скорость заливки	Увеличить скорость роста давления в агрегате заливки
	Недостаточная вентиляция формы	Прочистить венты, ввести дополнительную вентиляцию
	Низкая температура формы	Повысить температуру формы
	Попадание влаги на рабочую поверхность формы	Удалить влагу с рабочей поверхности формы
	Изменение химического состава сплава	Проверить химсостав, заменить сплав

Продолжение табл. 3.4

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Залив	Перекос или коробление формы	Устранить перекос или коробление формы
	Между частями формы по разъему попало твердое тело	Очистить поверхность частей формы в плоскости разъема от посторонних тел
	Недостаточная сила запирания формы	Проверить исправность механизма запирания формы, повысить силу запирания
	Повышенный перегрев расплава	Снизить температуру расплава
	Повышенная температура формы	Снизить температуру формы
	Повышенная скорость заливки	Снизить скорость нарастания давления в агрегате заливки
	Гидравлический удар	Выполнить в верхней части формы глухую полость
Коробление	Недостаточное время выдержки в форме до выталкивания отливки	Увеличить время выдержки в форме до выталкивания отливки
	Недостаточная величина литейных уклонов в отливке	Доработать кокиль по величине уклонов
	Перекос плиты толкателей или кокиля при выталкивании отливки	Обеспечить параллельность перемещения плиты толкателей и частей кокиля

Продолжение табл. 3.4

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Утяжины и завороты на верхнем торце	Гидравлический удар при заполнении формы	Уменьшить скорость заполнения формы, окрасить места оснастки, формирующие верхнюю часть отливки, теплоизоляционной краской
Пригар	Повышенное давление газа в печи, малая плотность поверхности песчаных стержня и формы	Отрегулировать режимы заполнения расплавом формы, тщательно окрашивать форму и стержни и контролировать их уплотнение
Изменение химического состава отливки	Обогащение сплава железом из-за частичного растворения стального или чугунного металлопровода	Тщательно окрашивать металлический металлопровод

3.5. ЛИТЬЕ С КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литье с кристаллизацией под давлением (ЛКПД) осуществляют на гидравлических прессах и литейных машинах, позволяющих выдерживать расплав под давлением до полного его затвердевания.

Отливку изготовляют в формах (пресс-формах, штампах), состоящих из пуансона (прессующего узла), матрицы, толкателей, съемников.

Расплав заливают в пресс-форму, установленную на столе пресса или подаваемую в зону прессования специальным устройством, а затем прессуют пуансоном или поршнем, закрепленным на ползуне пресса.

В зависимости от конфигурации прессующей части пуансона (поршня), условий формообразования и конфигурации отливки различают следующие варианты прессования:

– поршневое – кристаллизация под поршневым давлением;

– пуансонное – кристаллизация под пуансонным давлением;

– пуансонно-поршневое – кристаллизация под пуансонно-поршневым давлением;

– через литники-питатели – литье с выдавливанием в закрытые полости.

Кристаллизация под поршневым давлением. По этому способу расплав заливают в неразъемную или разъемную металлическую форму, достаточно прочную, чтобы выдержать давление, передаваемое на отливку поршнем. Давление на расплав передается плоским поршнем. Основная масса расплава остается неподвижной, за исключением верхней зоны, где уровень понижается, так как перемещение поршня при приложении давления вызывает деформацию кристаллизующейся корочки металла.

Кристаллизация под пуансонным давлением. Этот способ совмещает, по существу, заполнение формы выжиманием и кристаллизацию под давлением. Расплав заливают в разъемную металлическую форму до определенного уровня, и затем погружают пуансон, который выжимает расплав в полость формы. Давление на пуансон используют для уплотнения кристаллизующейся отливки и заполнения формы.

При пуансонно-поршневом (комбинированном) прессовании формообразование отливки частично осуществляется во время заливки расплава в матрицу и выдержке его в ней до соприкосновения с пуансоном, а заканчивается после вытеснения части незатвердевшего сплава в полости, ограниченные пуансоном и расположенные выше уровня заливки расплава в матрицу.

При прессовании через питатели (выдавливание расплава в закрытые полости) расплав заливают в металлоприемник. Из этого металлоприемника металл пуансоном вытесняется в закрытые полости пресс-формы, в которых могут быть изготовлены одна или несколько отливок.

ЛКПД объединяет такие способы литья, при которых давление используют как фактор эффективного воздействия на затвердевание и протекающие при этом процессы: усадку, газовыделение, трещинообразование, ликвацию. Относительные перемещения жидкого металла в процессе формообразования отливки этим методом незначительны.

Методы ЛКПД обеспечивают высокую плотность отливок, так как позволяют в значительной мере компенсировать усадку расплава при кристаллизации, благодаря уменьшению объема полости формы. Возникающие при воздействии давления сжимающие напряжения снижают склонность к трещинообразованию и способствуют получению точных заготовок с малыми припусками на обработку резанием.

В результате воздействия давления на кристаллизующийся металл или сплав в отливках происходят положительные структурные изменения: измельчение структуры, изменение состава и характера распределения фаз, повышение однородности металла за счет снижения дефектов. Изменение внутреннего строения отливок, устранение газовой и усадочной пористости приводят к повышению механических свойств отливок.

Возможные виды дефектов, причины их возникновения и меры предупреждения приведены в табл. 3.5 [7].

3.5. Дефекты отливок, изготовленных литьем с кристаллизацией под давлением

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Усадочные раковины и пористость	Недостаточное давление во время прессования	Увеличить давление и время прессования
	Позднее приложение давления	Уменьшить время до начала приложения давления
	Высокая температура заливки металла	Уменьшить температуру заливаемого металла

Продолжение табл. 3.5

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Спаи поверхностные и по уровню заливки расплава в матрицу	Попадание струи расплава на вертикальные стенки матрицы	Заливать расплав через воронку или желоб
	Использование легкоокисляющегося сплава	Заменить сплав или схему прессования
	Неправильный температурный режим	Оптимизировать режимы, увеличить припуск на обработку, уменьшить время действия давления
Корольки	Большая высота падения расплава в матрицу при заливке	Уменьшить высоту падения расплава, изменить схему заливки
	Холодная пресс-форма	Нагревать пресс-форму до заданной температуры
	Пресс-форма не смазана	Смазать пресс-форму
Горячие трещины	Позднее приложение давления	Уменьшить время до начала действия давления
	Недостаточное давление	Повысить давление до оптимального
	Неправильный температурный режим	Оптимизировать температурный режим
	Неправильная конструкция отливки	Изменить конструкцию отливки или схемы прессования

Продолжение табл. 3.5

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины	Газонасыщенность расплава	Рафинировать и дегазировать расплав
	Позднее приложение давления	Уменьшить время до начала приложения давления
	Высокая температура заливки металла	Снизить температуру заливаемого металла
	Обильная смазка	Оптимизировать толщину слоя смазки, заменить смазку или метод ее нанесения
Обратная ликвация	Позднее приложение давления	Оптимизировать время выдержки до начала приложения давления
	Неисправная пресс-форма	Заменить или отремонтировать пресс-форму
Шероховатая поверхность	Недостаточное давление	Оптимизировать давление
	Износ деталей пресс-формы	Заменить детали пресс-формы

3.6. ЛИТЬЕ ВЫЖИМАНИЕМ

Литье выжиманием применяют для производства крупногабаритных тонкостенных деталей панельного типа и оболочек.

Процесс выжимания может быть осуществлен на специальных машинах (установках) по двум схемам: путем поворота подвижной

полуформы вокруг неподвижной оси и плоскопаралелльным перемещением одной или двух полуформ.

Процесс начинается с подготовки машины (подогрева, окраски теплоизоляционной краской металлических частей) и сборки формы. Затем в нижнюю часть (металлоприемник) литейной установки заливают жидкий металл. По достижении металлом температуры начала выжимания, подвижную полуформу поворачивают (или перемещают). При этом происходит сближение полуформ, вследствие чего уровень металла в установке постепенно поднимается, заполняя полость между полуформами и боковыми стенками, закрывающими установку с торцов.

В момент окончания процесса полуформы сближаются настолько, что между ними образуется полость, равная толщине отливке. Избыток металла сливают из машины в специальный приемный ковш. Толщину тела отливки регулируют упорами, ограничивающими ход подвижной полуформы. Таким способом получают отливки с весьма малой (до 2 мм) толщиной стенки при их значительных (до 1000×3000 мм) габаритах. После затвердевания отливки подвижную полуформу возвращают в исходное положение, а отливку извлекают из установки.

Машины с поворотом подвижной полуформы применяют для изготовления тонкостенных крупногабаритных отливок типа панелей из алюминиевых сплавов, машины с плоскопараллельным перемещением – для отливок типа оболочек.

Таким образом, сущность литья выжиманием заключается в том, что геометрические размеры полости формы изменяются по мере заполнения расплавом и затвердевания отливки. Это позволяет уменьшить потери теплоты расплавом и заполнять формы тонкостенных крупногабаритных отливок, а также осуществлять компенсацию усадки путем уменьшения ее объема при кристаллизации. Все это способствует улучшению заполнения формы и повышению качества отливки.

Отливки, изготовленные литьем выжиманием, имеют хорошие структуру и механические свойства, так как формирование отливки происходит одновременно с заполнением литейной фор-

мы и заканчивается, в основном, в момент окончания ее заполнения. Это обеспечивает питание затвердевающей отливки.

Характерные дефекты отливок и способы их устранения приведены в табл. 3.6 [2].

3.6. Дефекты отливок, изготовленных литьем выжиманием

Наименование дефекта	Причины образования	Способы предупреждения
Трещины, разрывы в отливке, волнистость поверхности	Высокая скорость сближения полуформ при выжимании	Подобрать оптимальную скорость сближения полуформ
Рыхлоты и раковины возле тепловых узлов	Низкая температура металла при заливке	Повысить температуру металла при заливке и темп работы
Несоответствие размеров отливки требованиям чертежа	Низкая температура формы	Повысить температуру формы
	Неправильная сборка формы	Контролировать сборку формы
	Малая скорость сближения полуформ в конце выжимания	Поддерживать оптимальной скорость сближения полуформ
Коробление отливки, усадочные трещины	Асимметричность конструкции отливки	Улучшить технологичность конструкции отливки
	Неравномерность и затрудненность усадки	Обеспечить равномерность прогрева формы
	Заливы между щеками и формой	Устранить причины образования заливов

3.7. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

Центробежное литье получило большое распространение для отливок типа тел вращения (кольца, втулки, трубы), а в отдельных случаях – и фасонных отливок.

Сущность процесса центробежного литья заключается в том, что расплав заливают во вращающуюся форму, где под действием центробежных сил он отбрасывается и, плотно прижимаясь к внутренним стенкам формы, воспроизводит ее конфигурацию и затвердевает. Таким образом, центробежное литье – это способ изготовления отливок, при котором заполнение формы расплавом и его затвердевание происходят в поле действия центробежных сил.

При центробежном литье каждая частица залитого во вращающуюся форму расплава испытывает действие центробежной силы и силы тяжести.

Центробежная сила направлена радиально от оси вращения и представляет собой дополнительную силу тяжести, возникающую во вращаемом расплаве. При центробежном литье эта сила в несколько раз больше силы тяжести.

Отношение, показывающее, во сколько раз расплав утяжеляется в поле действия центробежных сил, называют гравитационным коэффициентом (коэффициентом утяжеления). Гравитационный коэффициент показывает, во сколько раз центробежная сила превышает силу тяжести, и характеризует изменение физических условий при центробежном литье по сравнению с литьем под действием гравитационных сил.

Если форма вращается вокруг вертикальной оси, внутренняя поверхность отливки будет иметь форму параболоида вращения, особенно при получении высоких отливок. Внутренняя поверхность отливки образуется в результате одновременного действия центробежной силы и силы тяжести, которые в этом случае взаимно перпендикулярны, это означает, что толщина стенки в верхней и нижней частях отливки будет различной. Отношение высоты

отливки к диаметру не должно превышать 1,5, в противном случае разностенность будет увеличиваться. Уменьшить разностенность отливки можно, увеличив значительно скорость вращения формы, однако при этом возрастает опасность ее механического разрушения.

Если форма вращается вокруг горизонтальной оси, разностенность отливки отсутствует.

Различают ряд разновидностей центробежного литья, классифицируемых по следующим признакам:

– по положению оси вращения (вертикальная, горизонтальная, наклонная, изменяющаяся во время заливки);

– по материалу и методу изготовления формы (металлические, керамические, оболочковые, песчаные, комбинированные);

– по положению полости формы по отношению к оси вращения (ось формы совпадает с осью вращения или форма находится вне оси вращения);

– по конфигурации отливки (труба, втулка, кольцо, асимметричная отливка);

– по материалу отливки.

Чаще используют два варианта, при которых расплав заливают в форму с горизонтальной или вертикальной осью вращения. Форма приводится во вращение машинами, называемыми центробежными с горизонтальной или вертикальной осью вращения. В первом случае получают чаще отливки большой протяженности (трубы, втулки), во втором – отливки малой протяженности (кольца, невысокие втулки) и фасонные.

По сравнению с литьем в стационарные формы при центробежном литье можно выделить следующие преимущества: высокие плотность металла и механические свойства отливок, возможность получения тонкостенных отливок, отсутствие стержней при получении полых отливок, повышение выхода годного за счет исключения литниковой системы и прибылей. Особенности литья оказывают влияние и на возникающие при этом способе дефекты (табл. 3.7 [6, 7]).

3.7. Дефекты отливок, изготовленных центробежным литьем

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Поперечные трещины	Затрудненная усадка отливки	Улучшить технологичность конструкции отливки. Исключить условия, затрудняющие усадку отливки: привар торцов к крышке, низкую податливость теплоизоляционного покрытия, использование сыпучих покрытий и др.
Продольные трещины	Высокое содержание вредных примесей в сплаве	Снизить содержание вредных примесей
	Недостаточная прочность сплава	Модифицирование металла, нитридванадиевое упрочнение сплава при выплавке, суспензионная заливка и др.
	Высокое число оборотов	Уточнить и подобрать оптимальное число оборотов изложницы для конкретных отливок. Использовать переменное число оборотов вращения изложницы в процессе затвердевания отливки (вначале, когда корочка металла тонкая, – медленное вращение, затем – оптимальное)

Продолжение табл. 3.7

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Спай на наружной поверхности отливки	Низкая температура формы и металла Некачественная подготовка изложницы	Повысить температуру металла и темп работы Тщательно подготавливать изложницы
Плена в наружных слоях отливок	Замедленная заливка сплава Низкая температура заливки металла	Повысить скорость заливки Повысить температуру заливки металла
Усадочная пористость	Нарушение направленного затвердевания	Утеплить свободную поверхности металла флюсом. Подобрать оптимальное число оборотов. Увеличить припуск для обработки резанием на внутренний диаметр отливки
Газовая пористость	Небрежная подготовка поверхности металлической основы при получении биметаллических отливок	Тщательно подготавливать (очистка, травление, лужение) металлическую основу перед заливкой на нее жидкого металла

Продолжение табл. 3.7

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Неметаллические включения	Плохое качество рафинирования металла	Улучшить режим рафинирования сплава
	Низкое число оборотов	Повысить число оборотов формы до оптимальных
Ликвация	Слишком высокое число оборотов изложницы	Снизить число оборотов до оптимальных
	Недостаточная скорость охлаждения отливки	Повысить интенсивность охлаждения
	Неправильно подобран сплав для отливки	Заменить (по возможности) сплав (особенно склонные к ликвации свинцовистые бронзы)
Пригар (при использовании песчаных форм и футерованных изложниц)	Высокое число оборотов	Уменьшить число оборотов формы
Недолив	Малая доза залитого металла в изложницу	Контроль массы заливаемого металла

Продолжение табл. 3.7

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Вмятины и неровности на наружной поверхности отливки	Неравномерное распределение сыпучего покрытия	Контролировать равномерность толщины покрытия
Сквозные раковины у втулок из оловянных бронз	Прорыв газов через затвердевшую стенку отливки вследствие:	
	высокой газотворности покрытия изложницы;	Контролировать качество покрытия
	высокой температуры изложницы (выше 100…120 °С);	Снизить темп работы
	низкого содержания цинка в расплаве (выгорание)	Контролировать химический состав сплава

3.8. ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Особенностями технологии является использование разовой модели, на которую наносят огнеупорное керамическое покрытие, образующее неразъемную керамическую форму, после чего модель удаляют из формы выплавлением.

Отсюда и название процесса – литье по выплавляемым моделям (ЛВМ). Кроме того, модель можно удалять из оболочки растворением и выжиганием.

Модели изготовляют в металлических разъемных пресс-формах путем заливки или запрессовки шприцем легкоплавких или растворимых модельных составов.

Пресс-формы выполняют *одноместными* или *многоместными*. Модели, полученные в одноместных пресс-формах, припаивают электрическим паяльником к модели литниковой системы, изготовляемой из того же состава, что и модель. В многоместных формах получают звенья моделей. При сборке звенья моделей насаживают на металлический каркас-стояк, последнее звено прижимают насаживанием колпачка (из того же модельного состава) на каркас-стояк. Соединенные модели отливок и модели литниковой системы называют *блоками моделей*.

Затем на поверхность блока моделей наносят слой огнеупорной смеси (формуют оболочку), которая представляет собой жидкую суспензию, состоящую из огнеупорного материала и связующего раствора этилсиликата. Обычно соотношение связующего раствора гидролизованного этилсиликата и пылевидного кварца составляет 1:(2,2…2,6) для первого слоя оболочки, наносимой на модель, и 1:(2,0…2,4) для остальных слоев. Суспензию контролируют по вязкости. Условная вязкость 35…45 с – для облицовочного слоя, до 25…30 с для последующих слоев суспензии. Керамическую суспензию наносят на блок моделей окунанием, в результате на поверхности модели образуется слой суспензии менее 1 мм.

Следующая операция – обсыпка блока моделей с суспензией сухим огнеупорным материалом (песком, шамотом) и сушка. Сушку проводят на воздухе или в специальных камерах (парами аммиака).

Цикл повторяют до тех пор, пока не получится неразъемная керамическая форма (оболочка) необходимой толщины, обычно 4…6 слоев.

Затем выплавлением или растворением в горячей воде удаляют модели отливок и литниковой системы. Оболочка после удаления из нее модели пропитана водой и частично модельным составом. Для удаления всех веществ, которые могут быть источником газов, оболочку прокаливают при T = 900…1000 °С. После прокалки формы в горячем состоянии заливают жидким металлом.

В качестве связующего используют гидролизованный раствор этилсиликата. Этилсиликат (ЭТС) – сложное химическое соединение, представляющее собой смесь эфиров кремниевых кислот.

Этилсиликат характеризуется условно процентным содержанием SiO_2. На практике широко распространен ЭТС-40, содержащий 40 % двуокиси кремния (SiO_2), применяют также ЭТС-32.

Гидролиз – это процесс замещения в эфирах этоксильных групп (C_2H_5O) гидроксильными группами (OH), в результате реакции гидролиза образуется коллоидный раствор кремниевой кислоты, который используется как связующее.

Так как этилсиликат плохо растворяется в воде, то гидролиз этилсиликата водой проводят в присутствии растворителей (органических) – спирте или (и) ацетоне. Для ускорения гидролиза вводят катализатор – соляную кислоту. Гидролиз ведут в быстроходной водоохлаждаемой мешалке.

Для приготовления связующего в бак быстроходной пропеллерной мешалки наливают растворитель, воду и HCl и перемешивают 1…2 мин. При непрерывном перемешивании постепенно вводят ЭТС. Реакция гидролиза идет с выдением теплоты – температура раствора поднимается до $T = 40…50$ °С, процесс гидролиза заканчивается по достижении раствором первоначальной температуры. Все это время (50…60 мин) раствор перемешивают, после чего используют для приготовления суспензии. Такой способ приготовления связующего называется однофазным.

Приготовление суспензии заключается в смешивании гидролизованного ЭТС с огнеупорным наполнителем.

При совмещенном способе процесс гидролиза объединяют с процессом приготовления суспензии. В гидролизатор наливают расчетное количество растворителя и ЭТС и перемешивают 2…3 мин, затем при перемешивании засыпают пылевидный кварц и перемешивают 5…10 мин. При непрерывном перемешивании вливают подкисленную воду и перемешивают 50…60 мин.

Преимущества ЛВМ следующие.

1. Возможность получения точных по размерам с чистой поверхностью отливок из всех сплавов с толщиной стенки 1…3 мм и массой от нескольких грамм до десятков килограмм любой сложной конфигурации.

2. Высокая плотность металла, так как в горячей форме отливка затвердевает медленно, что способствует фильтрации жидкого металла из литниковопитающей системы в отливку.

3. Отсутствие газотворных составляющих в результате прокалки исключает вероятность образования газовых раковин.

4. Уменьшение расхода металла в стружку, снижение затрат на обработку резанием. Особенно эффективен способ при получении отливок из труднообрабатываемых сплавов.

Таким образом, литейная форма представляет собой неразъемную, тонкостенную, прочную оболочку, негазотворную, с гладкой поверхностью. Перед заливкой оболочку прокаливают при 800…1000 °С для удаления газотворных составляющих и улучшения заполнения формы.

Дефекты отливок, изготовляемых литьем по выплавляемым моделям, возникают на следующих этапах технологического процесса:

– при изготовлении выплавляемых моделей (точность моделей является основой выдерживания размерных допусков отливок);

– при монтаже выплавляемых моделей в блоке (положение модели на блоке, размеры сечений стояка и питателей, включая коллекторы, оказывают существенное влияние на образование усадочных раковин, пористости, шлаковых раковин и неметаллических включений);

– при изготовлении формы (оболочки) (контроль исходных материалов, режимов сушки и прокаливания обеспечивает высокую точность и качество отливок);

– при плавке и заливке металла (от строгого соблюдения параметров на этом этапе зависит качество поверхности отливок, их плотность и однородность, а также механические свойства).

Классификация дефектов при изготовлении отливок ЛВМ приведена в табл. 3.8 [5].

3.8. Дефекты отливок, изготовляемых литьем по выплавляемым моделям

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. Шероховатость поверхности	1.1. Недостаточная чистота поверхности пресс-форм	При изготовлении пресс-форм их рабочую поверхность необходимо тщательно обрабатывать и полировать. В процессе работы прочищать, протирать и обдувать сжатым воздухом полости пресс-форм для удаления остатков модельного состава, воды, излишнего смазочного материала
	1.2. Неудовлетворительные технологические свойства или качество приготовления модельного состава, несоблюдение оптимальных режимов изготовления моделей	Не допускать применения модельных составов, которые могут прилипать к пресс-форме и химически взаимодействовать с ее материалом. Фильтровать расплавы модельных составов для отделения нерастворившихся посторонних примесей, частиц песка. Приготовлять однородные модельные составы, не допуская комков в пасте. Соблюдать постоянство оптимальных режимов изготовления моделей: температуры модельного состава и пресс-форм, времени давления при запрессовке состава

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. Шероховатость поверхности	1.3. Неудовлетворительное смазывание пресс-форм	Систематически смазывать пресс-формы. Не допускать нанесения излишне густого и обильного смазочного материала
	1.4. Плохое смачивание поверхности модели суспензией	Обезжиривать модели. Вводить в суспензию облицовочного слоя добавки-смачиватели поверхностно-активные вещества (ПАВ)
	1.5. Излишняя вязкость модельного состава, ведущая к выкрашиванию непрочного первого слоя оболочки при выплавлении моделей	Упрочнить первый слой оболочки. Использовать модельные составы с малой вязкостью
	1.6. Высокий местный нагрев отдельных частей оболочки при прокаливании вследствие выгорания невыплавленного и впитавшегося в оболочку формы модельного состава, приводящего к растрескиванию и частичному выкрашиванию оболочки формы	Применять наиболее современные методы выплавления моделей, например, в автоклавах, перегретых паром, с помощью СВЧ-нагрева. Конструировать модельные блоки с учетом более полного удаления модельного состава при выплавлении и растворении

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. Шероховатость поверхности	1.7. Недостаточная поверхностная прочность оболочки	Использовать связующие растворы, обеспечивающие технологически необходимую прочность оболочек
	1.8. "Пробой" первого облицовочного слоя суспензии песком при обсыпке блоков	Не применять крупнозернистый песок для обсыпки первого слоя суспензии. Консистенцию и состав суспензии для первого слоя подбирать такими, чтобы слой был равномерным и достаточным по толщине на всех поверхностях моделей в блоке
	1.9. Образование в полости формы налета кремнезема ("пушка") вследствие неполного гидролиза этилсиликата (ЭТС) в связующем облицовочного слоя, растворения связующим некоторых компонентов модельного состава	Рассчитывать компоненты гидролизованного раствора, строго соблюдать рецептуру и режимы приготовления связующего и суспензии. Ускорить процесс сушки облицовочного слоя интенсивной вентиляцией камеры, применением вакуума и аммиачного отверждения для связующих первого типа на органических растворителях. Заменить в модельном составе компоненты, взаимодействующие с гидролизованным раствором ЭТС (например, стеарин)

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Заливы	2.1. Образование трещин в одном или нескольких слоях оболочки формы вследствие недостаточной ее термостойкости, нарушения режимов изготовления формы, некачественных модельных и формовочных материалов	Допускать в производство материалы, полностью соответствующие по составу и свойствам, утвержденным ТУ. То же, что и в п. 1.7. Поддерживать постоянную консистенцию суспензии, регулируя перемешивание и компенсируя испарение летучих составляющих. Следить за равномерностью толщины слоев оболочки. Опасно стекание суспензии с выпуклых частей, наружных углов и острых кромок моделей, а также образование наплывов в углублениях и пазах. Своевременно, до подсыхания суспензии, равномерно обсыпать блок песком. Выдерживать оптимальные режимы сушки оболочки (продолжительность, температуру, влажность воздуха, скорость его циркуляции)

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Заливы	2.2. Образование на поверхности моделей и между слоями оболочки воздушных пузырьков из-за плохого смачивания поверхности моделей суспензией и плохой подготовки суспензии	Суспензию для облицовочных слоев формы после перемешивания выдерживать для удаления пузырьков воздуха. Для интенсификации этого процесса производить выдержку под вакуумом и при вибрации. Строго соблюдать установленные соотношения твердых и жидких компонентов суспензии, тщательно перемешивать их, обеспечивая соблюдение установленной для данного слоя условной вязкости, контролируемой по ГОСТ 8420–74. Избегать выполнения литых резьб, глубоких отверстий малого диаметра, узких пазов. При необходимости получения в отливках узких протяженных полостей (например, в охлаждаемых лопатках турбин) применять специальные керамические стержни. Если при формировании слоев оболочки в отверстии модели расстояние между ними становится недостаточным для нормального нанесения обсыпки и сушки следующего слоя, образовавшуюся щель следует заделать смесью, например, следующего состава: 68 % молотого плавленного кварца, 2 % окиси магния, 30 % связующего раствора ЭТС. Выполнить галтели во внутренних узлах отливок

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Заливы	2.3. Растрескивание оболочки под давлением модельного состава в блоке вследствие его нагрева или охлаждения, при изменениях температуры окружающей среды (при сушке слоев оболочки и при удалении из нее моделей)	Поддерживать постоянную температуру в помещении для сушки и хранения модельных блоков во время и после операции формирования оболочки. Применять модельные составы с малым коэффициентом объемных изменений. Использовать полые модели. Применять способы выплавления моделей, обеспечивающие быстрое расплавление их поверхностного слоя, до начала расширения основных массивных частей (автоклавный метод, СВЧ-нагрев, нагрев в жидком теплоносителе с температурой на 30…40 °С и более превышающей температуру модельного состава). Для крупных сложных моделей и при использовании вязких модельных составов (типа К50П30Ц20) применять прочные формовочные наполнители, например на цементе. Равномерно уплотнять опорные наполнители при формовке

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Заливы	2.4. Разрушение оболочки при вакуумно-аммиачной сушке из-за взрывного характера испарения органических растворителей при излишне быстром создании вакуума либо вследствие расширения полых моделей при наборе вакуума в сушильной камере	Соблюдать оптимальные режимы сушки
	2.5. Образование трещин в оболочке под давлением опорного наполнителя	Для крупных отливок увеличить число слоев оболочки формы. Применять крупнозернистый песок для обсыпки последних слоев оболочки и добавлять цемент в песок. Формировать при изготовлении оболочек высокопористые промежуточные слои, снижать напряженное состояние оболочек. Применять в качестве опорного наполнителя материалы с малым коэффициентом теплового расширения и малой плотности (например, крупнозернистый шамот). Избегать горизонтального расположения в опоке отливок с большими плоскими поверхностями

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Заливы	2.6. Образование трещин в оболочке формы вследствие объемных изменений в ней при прокаливании и охлаждении перед заливкой	Соблюдать режимы прокаливания. Применять для изготовления оболочек огнеупорные материалы с малым термическим коэффициентом линейного расширения (электрокорунд, плавленый кварц, циркон и др.), что позволяет прокаливать и заливать оболочки форм без опорного наполнителя. Избегать применения комбинированных форм из материалов с различными свойствами, например, использования в качестве связующих для первых слоев оболочки гидролизованного ЭТС, а для последующих – жидкого стекла. Различие свойств этих материалов при прокаливании приводит к появлению трещин, короблению и расслаиванию оболочек. При заформовывании оболочек в опорный наполнитель выдерживать зазор 25…30 мм между оболочкой и стенками опоки, а также ее дном во избежание быстрого охлаждения наружного слоя опорной части формы. Избегать охлаждения прокаленных кварцевых форм перед заливкой до температур кристаллического превращения модификаций кварца (β-кварц $\leftrightarrow$ $\leftrightarrow$ α-кварц при 575 °С)

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Заливы	2.7. Образование трещин в облицовочном слое формы, его коробление и расслаивание (вспучивание) в результате теплового и механического воздействия на форму	Заливать форму с минимальной высоты. Применять литниковую систему, обеспечивающую спокойный подвод металла в полость формы. Конструировать литниковую систему и модельный блок так, чтобы при заливке и охлаждении металла не было сильного нагрева отдельных частей формы. Не располагать очень близко одну с другой отливки в блоке
	2.8. Механические повреждения оболочек форм на всех операциях процесса	Предохранять оболочки и формы от механических повреждений на всех технологических операциях
3. Пригар	3.1. Химическая активность к материалу оболочки оксидов, растворенных в сплаве либо образующихся на поверхности контакта металла с формой, а также отдельных элементов, входящих в сплав	Использовать формовочные материалы, химически инертные к применяемому литейному сплаву. Например, высокомарганцовистые стали не следует заливать в формы с облицовочным слоем на основе кварца; последний, взаимодействуя с оксидами марганца, образует химический пригар ($MnSiO_3$). При заливке высокомарганцовистых сталей необходимо применять для изготовления оболочек-форм электрокорунд, плавленый магнезит, а в качестве связующего – гидролизованные растворы ЭТС первого типа

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
3. Пригар		При использовании пылевидного кварца следует по возможности снижать температуру заливки. При низкой температуре взаимодействие кремнезема формы с оксидами марганца значительно меньше
	3.2. Перегрев металла при заливке формы	Соблюдать оптимальную температуру заливки сплава с учетом конфигурации отливки
	3.3. Сильный разогрев отдельных участков полости формы металлом, через которые проходит большая масса металла, малое расстояние между отливками в блоке	Рассредоточивать подвод металла к отливкам. Уменьшать массивные узлы. Увеличивать расстояния между отливками в блоке
	3.4. Несоответствие огнеупорной основы оболочки формы техническим условиям	Не использовать материал, загрязненный примесями, снижающими химическую и термическую стойкость формы
4. Недолив	4.1. Пониженная жидкотекучесть металла в результате низкой температуры его при заливке или газонасыщенности	Соблюдать оптимальную температуру заливки металла. Ковши перед заливкой просушивать и подогревать до 800 °С. Дегазировать и тщательно раскислять сплав, предохранять его от окисления

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
4. Недолив	4.2. Образование воздушных мешков в форме при заливке вследствие низкой газопроницаемости оболочки формы	Повышать газопроницаемость формы. Применять выпоры в литниковой системе
	4.3. Прерывистость струи металла при заливке. Заливка тонкой неровной струей	Заливать формы полной непрерывной струей
	4.4. Недостаточное количество металла в ковше	Не заливать форму, если нет уверенности в достаточном количестве металла. Обеспечить полное заполнение стояка и литниковой воронки
	4.5. Прорыв металла и уход его из формы	Равномерно уплотнять формовочный опорный наполнитель. Не допускать к заливке оболочки формы, имеющие трещины
5. Спай	5.1. Причины те же, что в пп. 4.1–4.3	То же, что в пп. 4.1–4.3
	5.2. Дефекты литниковой системы (недостаточное сечение питателей или других элементов, неправильный выбор места подвода металла к отливке)	Исключить заполнение отливки встречными потоками металла. Изменить расположение, число и размеры элементов литниковой системы. Сократить время заполнения формы. Улучшить конструкцию блока для создания необходимого статического давления металла

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
5. Спай	5.3. Низкая температура литейной формы	Заливку сложных отливок с тонкими стенками проводить в горячие формы, нагретые до 850 °С и выше
	5.4. Заплеск при заливке	При заливке в одной опоке нескольких оболочек увеличивать расстояние между ними. Закрывать асбестом отверстия для выпоров и открытых прибылей вблизи литниковой воронки
6. Усадочные раковины и пористость	6.1. Нетехнологичная конструкция отливки. Имеются трудно-пропитываемые расплавом при кристаллизации массивные узлы, сочетающиеся с тонкими стенками и ребрами, резкие переходы от массивных частей к тонким. В местах сопряжения отдельных частей отливки выполнены острые углы	Улучшить конструкцию отливки. Применять выпоры, холодильники и специальные обогреватели. Изменить литниковую систему для обеспечения направленной кристаллизации отливки

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
6. Усадочные раковины и пористость	6.2. Литниковая система имеет неправильную конструкцию или размеры	Использовать в качестве прибылей стояк и коллекторы. Для крупных отливок применять специальные прибыли, подводя в них металл для питания массивных частей отливки. Изменить длину, форму и число питателей, размеры их сечения для обеспечения питания отливки при кристаллизации. Рассчитывать размеры элементов литниковой системы так, чтобы обеспечить питание всех присоединенных к ним отливок
	6.3. Ошибки, связанные с расположением отливок в блоке	Располагать отливки, избегая взаимный обогрев труднопропитываемых узлов двух соседних отливок. Учитывать быстрое охлаждение наружных частей прокаленной формы при создании условий направленной кристаллизации
	6.4. Повышенная температура металла при заливке в формы	Поддерживать оптимальную температуру заливки для применяемого сплава с учетом конфигурации отливки
	6.5. Недолив прибыли или литниковой воронки и стояка, выполняющих функции прибыли	Литниковая воронка, стояк и прибыли должны быть заполнены металлом

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
6. Усадочные раковины и пористость	6.6. Повышенная газонасыщенность металла газами и оксидами. Выделяющиеся при кристаллизации из металла газы проникают в места образования усадочных дефектов	Не допускать насыщенности газами сплава в процессе плавки и разливки. Тщательно раскислять сплав перед заливкой, так как образование оксидов снижает жидкотекучесть и способствует образованию усадочных дефектов
7. Утяжина	7.1. Недостаточное питание массивного узла отливки, приводящее к образованию усадочной раковины внутри узла, утяжке или продавливанию в полость раковины недостаточно твердо затвердевающей поверхностной корочки металла	То же, что в пп. 6.1–6.6. Утяжины находятся обычно в тех частях отливки, где металл охлаждается медленно, и затвердевает в условиях недостаточного питания, вследствие чего тонкая металлическая корочка затвердевшего металла продавливается в сторону образующейся подкорковой усадочной раковины
8. Засор	8.1. Попадание формовочных материалов в полость формы через трещины в оболочке	Предупреждать образование трещин в оболочке формы. То же, что в пп. 2.1–2.7

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
8. Засор	8.2. Поломка или выкрашивание перед заливкой и при заливке части оболочки формы, выполняющей литниковую воронку	Тщательно наносить суспензию на модель литниковой воронки, предусматривать упрочняющий буртик: подрезать (выравнивать) торец литниковой воронки перед выплавлением. Применять специальные соросборники на конце стояка
	8.3. Попадание в полость оболочки формовочного песка при формовке в опорный наполнитель, прокаливании, заливке и транспортировании форм	Ставить оболочку в опоку так, чтобы край воронки возвышался над наполнительным песком на 10…15 мм. Закрывать литниковую воронку перед формовкой металлическим колпачком. Перед прокаливанием формы смачивать поверхность песка вокруг воронки раствором жидкого стекла. При формовке с торцовыми пробками из влажного наполнителя выполнять кольцевую канавку вокруг литниковой воронки. Отсасывать инжектором сор из полости формы перед заливкой. При изготовлении отливок ответственного назначения отверстие литниковой воронки заклеивать бумагой сразу после выплавления моделей

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
8. Засор	8.4. Смывание струей металла керамических заусенцев в оболочке формы, образовавшихся в результате попадания суспензии в зазор между моделями стояка и питателей при небрежной пайке, либо между звеньями моделей при неплотном их соединении	Тщательно соединять и спаивать модели с элементами литниковой системы, выполнять галтели в местах соединений. При звеньевой сборке блоков на стояке-каркасе выполнять на концах литниковой втулки замки или тонкие кромки, сминающиеся при соединении звеньев
	8.5. Засоренность модельного состава	Очищать модельный состав, отстаивать и фильтровать его
	8.6. Осыпание футеровочного материала печи и ковша	Поддерживать в порядке футеровку печи и ковшей, своевременно ремонтируя и заменяя ее
9. Шлаковые раковины	9.1. Попадание шлака с расплавом в форму при заливке	Наводимый в процессе плавки шлак должен быть достаточно вязким и хорошо отделяться от расплава. Шлак следует сгущать перед заливкой, например, добавкой металлургического магнезита для удобства его съема с зеркала расплава. Скачивать шлак с зеркала расплава перед заливкой. Придерживать сплав графитовой отсечкой при сливе расплава из печи в ковш и в форму.

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
9. Шлаковые раковины	9.1. Попадание шлака с расплавом в форму при заливке	Очищать от скрапа тигель плавильной печи и ковши. Следить за исправностью их футеровки. Применять ковши чайникового типа. Выдерживать расплав в ковше до всплытия шлака. Перегревать расплав перед сливом в ковш. Материал футеровки печи и ковшей выбирать с учетом свойств выплавляемого сплава во избежание их химического взаимодействия. Предупреждать образование в литейной форме вторичных шлаков. При изготовлении отливок из сплавов с повышенной химической активностью использовать инертные по отношению к сплаву формовочные материалы. В литниковой системе предусматривать шлакоуловители. Заливать формы спокойно с небольшой высоты, ровной непрерывной струей. Сплавы, наиболее склонные к окислению и образованию вторичных шлаков, заливать непосредственно из плавильной печи. Использовать при необходимости фильтровальные сетки, например, из стекловолокна, и керамические фильтры. Заливать алюминиевые сплавы через трубку. При изготовлении отливок ответственного назначения из легко окисляющихся сплавов проводить заливку в среде инертных газов или вакууме

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
10. Газовые раковины	10.1. Повышенная газотворность литейной формы. Неполное удаление из оболочки формы остатков модельного состава. Наличие газотворных примесей в формовочных материалах	Соблюдать режимы прокаливания, обеспечивающие полное удаление из формы газотворных составляющих. Применять наиболее эффективные методы удаления моделей из оболочки формы: в паровых автоклавах, СВЧ-нагревом, выплавлением или растворением (для солевых моделей) в горячей воде. Не допускать использования формовочных материалов, содержащих газотворные примеси (пылевидный кварц, засоренный мелом, и др.). Промывать и прокаливать формовочные огнеупорные материалы (пылевидный кварц, песок), засоренные органическими примесями
	10.2. Недостаточная газопроницаемость литейной формы	Для обсыпки необлицованных слоев оболочки применять крупнозернистые материалы (пески, шамотную крошку и др.) с зернами размером 0,3…2,5 мм. Выполнять в средней части оболочки высокопористые слои, используя в обсыпочном материале выгорающие, разлагающиеся, а также пористые материалы (опилки, мраморную крошку, вспененный шамот, аглопорит и др.).

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
10. Газовые раковины		При введении в сухой наполнитель борной кислоты или буры в качестве упрочнителя поддерживать их содержание на нижнем пределе (1,5 %)
	10.3. Неправильно сконструированная литниковая система, способствующая инжектированию воздуха в струю металла при заливке	Изменить и расчетом уточнить литниковую систему
	10.4. Повышенная газопроницаемость литейного сплава в результате применения окисленной шихты и влажных присадок, а также излишнего перегрева расплава при плавке, недостаточной его раскисленности, склонности к значительному газопоглощению (сплавы на основе Al, Mg), плохого прокаливания футеровок плавильной печи и разливочного ковша	При подготовке шихтовых материалов тщательно их очищать, например, в дробеструйных камерах. Подогревать шихту и присадки при температуре не ниже 120 °С. Строго соблюдать принятые режимы плавки, не перегревать металл. Тщательно раскислять металл по ходу плавки перед заливкой форм. Рафинировать сплавы, склонные к газонасыщению. Применять плавку в вакууме и среде инертных газов. Тщательно высушивать и прокаливать футеровку плавильной печи и разливочных ковшей

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
10. Газовые раковины	10.5. Заливка прерывистой струей	Не допускать разрыва струи расплава при заливке и попадания воздуха вместе с расплавом в форму
11. Плена	11.1. Повышенная склонность к окислению при расплавлении отдельных элементов, входящих в состав сплава (Al, Ti)	Никельхромовые, никелькобальтхромовые и железоникельхромовые сплавы с интерметаллидным упрочнителем [Ni_3(Ti, Al)] выплавлять, переплавлять и заливать в формы в вакуумных индукционных плавильных установках
	11.2. Образование плен оксидов металлов в расплаве, плавильной печи или разливочном ковше	При отсутствии или невозможности использовать вакуумные плавильные установки частичное предохранение отливок от оксидных плен может быть достигнуто применением порционных поворотных печей с заливкой форм при повороте системы печь-форма, плавкой и заливкой под слоем флюсов или в среде инертного газа (аргона). Применять ковши чайникового типа; тщательно прокаливать разливочные ковши, очищать и исправлять их футеровку

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
12. Корольки	12. Разбрызгивание металла при заливке в форму, охлаждение и окисление поверхности капель	Конструкция литниковой системы должна исключать возможность разбрызгивания металла при заливке. Заливать металл в формы ровной непрерывной струей с небольшой высоты. Модели в блоке располагать так, чтобы возможные брызги металла при заливке не попадали из стояка или коллектора в полости форм
13. Горячие трещины	13.1. Нетехнологичность конструкции отливок и блока отливок. Значительная концентрация напряжений в острых углах, сложных замкнутых контурах, резких переходах от массивных узлов к тонким сечениям. Появление трещин более вероятно, если места концентрации напряжений ослаблены усадочными дефектами (рыхлость, усадочные раковины)	Конструктивное улучшение отливки и литниковой системы

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
13. Горячие трещины	13.2. Высокая температура расплава при заливке, приводящая к увеличению внутренних напряжений в отливках	Соблюдать оптимальную для данных отливок температуру заливки форм
	13.3. Недостаточная податливость литейной формы	Сократить число слоев оболочки формы. При излишне высокой прочности оболочки снизить ее до технологически необходимой (обычно не более 7 МПа при статическом изгибе), например, путем регулирования состава связующего. Применять оболочки с пористыми прослойками (см. п. 10.2)
	13.4. Повышенное содержание вредных примесей в металле (например, серы в сталях), оксидов и газов, снижающих прочность отливок в горячем состоянии	Применять высококачественную очищенную шихту, правильно рассчитывать шихту, тщательно раскислять металл перед заливкой

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
14. Холодные трещины	14.1. Причины образования холодных трещин могут быть те же, что и горячих. Внутренние напряжения, возникающие в горячих отливках, возрастают при охлаждении их до нормальной температуры. Повышению напряжений способствуют продолжающаяся усадка отливок при охлаждении, фазовые превращения в металле, происходящие с изменением объема, неравномерное охлаждение	Применять меры, указанные в п. 13
	14.2. Напряжения от внешних воздействий на отливку, например, резких ударов при выбивке и обрубке	Не допускать преждевременной выбивки. Для некоторых видов отливок увеличивать время остывания залитых форм. Выбивку, отделение литников и очистку для сложных тонкостенных отливок, особенно из хрупких в литом состоянии сплавов, проводить без ударов, после отжига для снятия внутренних напряжений

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
15. Окалина	15. Окисление поверхности отливки в форме или преждевременная выбивка ее из формы	При формовке выдерживать зазор не менее 30 мм между оболочкой формы, дном и стенками опоки. Песок с верхнего открытого конца опоки укрепить добавкой борной кислоты. Вводить в формовочный песок карбюризатор (1…3 %), препятствующий образованию окалины. Выдерживать отливки в формах до полного охлаждения. Проводить термообработку в восстановительной или нейтральной среде
16. Обезуглероженный поверхностный слой толщиной до 0,5 мм на стальных и чугунных отливках (мягкий ферритный слой) (см. рис. 43 в Приложении 1)	16.1. Обезуглероживание происходит в поверхностном слое горячих отливок в результате окисления углерода и его диффузии к поверхности отливки, либо при охлаждении отливки в форме, либо при термообработке	Вводить карбюризатор в состав наполнителя. После заливки помещать формы в закрытые емкости и создавать там восстановительную среду (например, по методу З.А. Шагеева, забрасывая на поверхность горячих залитых форм куски воскообразного модельного состава), применять обработку форм после заливки, приводящую к осаждению пироуглерода в порах оболочек форм (по методу, разработанному в Челябинском политехническом институте). Термообработку отливок вести в восстановительной или нейтральной среде. Обезуглероженные отливки термообрабатывать в карбюризаторе для насыщения углеродом обезуглероженного слоя металла

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
17. Вмятины, забои, царапины	17.1. Неправильный выбор методов выбивки, очистки, отделения литников и отделки отливок	Не допускать ударов по отливке при выбивке, очистке и отделении литников, использовать для этой цели специальные пневматические и механические устройства. Не допускать очистку тонкостенных, легкоповреждаемых отливок в галтовочных барабанах. Применять для очистки обдувку металлическим песком, химические и электромеханические методы. Использовать легкоразупрочняемые во влажной среде оболочки, например, изготовленные по методу МАТИ
	17.2. Небрежное транспортирование отливок	Не транспортировать отливки навалом. Для транспортирования особо ажурных и тонких отливок применять тару с ячейками
18. Отклонение размеров отливок от требуемых	18.1. Изменение технологических баз при обработке отливок в механических цехах	Использовать согласованные контрольные и опорные базовые поверхности отливок при обмере и обработке отливок в литейном и механическом цехах. При весьма малых припусках на отливках изменение согласованных баз может привести к искажениям при обработке – излишнему (одностороннему) съему припуска

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
18. Отклонение размеров отливок от требуемых	18.2. Неточность размеров моделей вследствие применения модельных составов с большой и непостоянной усадкой, несоблюдение оптимальных режимов изготовления моделей, недостатков конструкции пресс-форм	Изменить рецептуру модельного состава. Применять модельные составы высокой термоустойчивости. Отработать и соблюдать оптимальные режимы изготовления и хранения моделей. Обеспечить точность моделей и правильный выбор модельных составов. Изменить конструкцию пресс-форм, обеспечив надежность крепления их половин и вставок, съем моделей, исключающий возможность их деформации и искажения размеров при выеме из пресс-форм
	18.4. Образование трещин в оболочке формы, отслаивание облицовочного слоя от поверхности модели	То же, что в пп. 1.4–1.6 и пп. 2.1–2.6
	18.5. Деформация литейной формы в результате объемных изменений формовочных материалов при неравномерном нагреве и охлаждении различных частей формы, недостаточной прочности облицовочного слоя формы	То же, что в пп. 2.3–2.6. При литье сложных деталей в вакууме формы с опорными наполнителями заменять оболочковыми формами без опорных наполнителей

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
18. Отклонение размеров отливок от требуемых	18.6. Механические повреждения моделей, форм и отливок на различных операциях технологического процесса	Соблюдать меры предосторожности на различных операциях с моделями, формами и отливками
19. Коробление	19.1. Нетехнологичность конструкции отливки, приводящая к значительному короблению моделей и отливок на различных этапах технологического процесса	Изменить конструкцию отливки. Ввести специальные технологические приливы, ребра жесткости, стяжки, препятствующие изменению формы моделей и отливок под действием возникающих термических и усадочных напряжений
	19.2. Коробление моделей вследствие недостаточной формоустойчивости и большой усадки модельного состава, а также небрежного хранения моделей и модельных блоков	Заменить модельный состав более формоустойчивым, прочным с меньшей и стабильной усадкой (например, вместо состава П50С50 применять П70Б12Ц13Ко5). Хранить модели и модельные блоки в шкафах-термостатах при постоянной оптимальной температуре в положении, исключающем деформацию моделей под действием собственного веса. Использовать специальные драйверы – подставки для моделей. Тонкостенные модели лопаток турбин перед сборкой проверять на коробление специальным инструментом (шаблонами) или по прямолинейным образующим (лекальной линейкой)

Продолжение табл. 3.8

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
19. Коробление	19.3. Коробление отливок в форме или при выбивке	Конструировать блок отливок таким образом, чтобы последние охлаждались равномерно, затрудненная усадка проявлялась в меньшей степени. Равномерно уплотнять наполнитель. Не выбивать отливки преждевременно
	19.4. Коробление отливок при термообработке	Нагрев до температуры термообработки вести медленно. Отливки помещать на песчаную подушку. Выполнять в отливках неуравновешенной конструкции, склонных к короблению, стяжки, удаляемые после термообработки

3.9. ЛИТЬЕ В КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ПО ПОСТОЯННЫМ МОДЕЛЯМ

Технологический процесс изготовления отливок в керамических формах по постоянным моделям заключается в следующем. Сначала готовят гидролизованный раствор этилсиликата как при литье по выплавляемым моделям (однофазным способом). Одновременно готовят огнеупорные материалы. Наиболее распространенной является смесь маршаллита и кварцевого песка в соотношении 3:1. Затем приготовляют суспензию перемешиванием гидролизованного этилсиликата и огнеупорного наполнителя в соотношении 1:(3,5…4,5). В суспензию при ее приготовлении вводят гелеобразователи (вещества с основными свойствами), которыми являются растворы различных щелочей, карбоната аммония, триэтаноламина, порошки магнезита и др.

Подготовленную суспензию вливают в опоку с моделью или в стержневой ящик, где она через заданное время переходит в студнеобразное состояние, а затем твердеет вследствие гелеобразования. После затвердевания смеси модель извлекают из формы (стержень – из стержневого ящика), затвердевшую форму (стержень) помещают в горячую печь, в пламя горелки, или поджигают. При этом спирт, содержащийся в гидролизованном растворе этилсиликата, испаряется из керамической смеси, загорается, и на поверхности формы или стержня появляется мелкая сетка трещин. Микротрещины повышают технологические свойства (газопроницаемость, податливость) формы и практически не влияют на качество поверхности отливок. После выжигания летучих составляющих (выгорания спирта) керамическую форму (стержень) прокаливают при 900…950 °С. Металл заливают как в горячие, так и в холодные формы.

Литье в керамические формы по постоянным моделям называют также "Шоу-процессом", запатентованным английским инженером Шоу.

В керамических формах изготовляют отливки массой 0,2… 10 000 кг с повышенной точностью размеров, чистой поверхностью и высокими механическими свойствами.

Литью в керамические формы по постоянным моделям наряду с общими, свойственными другим видам литья, присущи и характерные дефекты (табл. 3.9) [8].

3.9. Дефекты отливок, изготовляемых литьем в керамические формы по постоянным моделям

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. Шероховатость поверхности	1.1. Плохая обработка рабочей поверхности оснастки	Рабочую поверхность модельной оснастки и эталонов для ее изготовления следует хорошо обработать (полировать, лакировать)

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
1. Шероховатость поверхности	1.2. Загрязненная поверхность оснастки	Тщательно очищать модельную оснастку от остатков разделительной смазки и керамики
	1.3. Прилипание суспензии к оснастке	Окрашивать суспензию красками, эмалями и лаками, не реагирующими с суспензией. Оснастку разбирать после полного отверждения суспензии. Тщательно наносить разделительную смазку
	1.4. Неравномерное отверждение суспензии	Равномерно и тщательно перемешивать составляющие суспензии во время ее приготовления
	1.5. Недостаточная поверхностная прочность керамической формы	Проверить составы суспензии. Наносить на формы и стержни упрочняющие покрытия
	1.6. Расслоение суспензии из-за ее малой вязкости или длительного времени затвердевания	Подобрать правильное соотношение между жидкой и твердой фазами суспензии. Найти оптимальные количества и концентрацию гелеобразователя

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Залив металла в виде гребешков, наплывов разнообразной формы	2.1. Трещины в форме из-за повышенного содержания жидкой фазы суспензии	То же, что и в п. 1.6
	2.2. Трещины в форме из-за использования связующего с длительным сроком хранения	Соблюдать рекомендуемые сроки хранения связующих
	2.3. Расталкивание оснастки при ее отделении из формы	Применять приспособления для разборки оснастки
	2.4. Нетехнологичность конструкции отливки: резкие переходы от массивных частей к тонким, острые углы и др.	Изменить конструкцию отливки: ввести облегчение в массивных узлах и выровнять толщины стенок; выполнить плавные переходы, галтели во внутренних углах; применять выпоры и холодильники
	2.5. Мелкие воздушные раковины на поверхности форм	Удалять воздушные пузырьки из суспензии путем ее выстаивания, вакуумирования
	2.6. Поверхностные и подкорковые воздушные полости по форме	Правильно располагать оснастку для отвода из ее полости воздуха при заливке суспензии; устанавливать выпоры и вентеляционные каналы. Уменьшать скорость заливки суспензии и применять вибрацию

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Залив металла в виде гребешков, наплывов разнообразной формы	2.7. Образование трещин в форме из-за ее объемных изменений при прокаливании и охлаждении	Соблюдать режимы прокаливания, особенно комбинированных форм. Подбирать составы облицовочных и наполнительных слоев формы с одинаковыми коэффициентами термического расширения. Избегать охлаждения прокаленных форм из кристаллического кварца перед заливкой до температур ниже 570 °С. Изменить в форме расположение металлических каркасов. Для ответственных отливок форму изготовлять из огнеупорных материалов с малыми коэффициентами термического расширения
	2.8. Коробление и расслаивание формы от теплового и механического воздействия металла на форму	Заливать формы с минимальной высоты. Применять литниковую систему со спокойным подводом металла, предупреждать сильный разогрев отдельных частей формы (холодильники)

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
2. Залив металла в виде гребешков, наплывов разнообразной формы	2.9. Взаимодействие расплавленного металла с легкоплавкими примесями материала формы	Контролировать исходные материалы формы и предупреждать использование некачественных огнеупорных материалов
	2.10. Механические повреждения формы на всех операциях процесса	Предохранять формы от механических повреждений
3. Пригар	3.1. Химическая активность металла и его окислов к материалу формы	Использовать формовочные материалы, химически инертные по отношению к заливаемому сплаву
	3.2. Перегрев металла при заливке форм	Соблюдать оптимальную температуру заливки с учетом конфигурации отливки
	3.3. Сильный разогрев отдельных частей форм	Применять холодильники
4. Недолив	4.1. Пониженная жидкотекучесть металла	Соблюдать оптимальную температуру заливки металла; применять подогретые формы. Просушивать и подогревать ковши до 700…800 °С. Дегазировать и тщательно раскислять расплав и предохранять его от окисления

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
4. Недолив	4.2. Образование воздушных мешков в форме	Повышать газопроницаемость форм. Применять наколы в форме и выпоры в литниковой системе. Исключать в форме встречные потоки жидкого металла
	4.3. Прерывистость струи металла при заливке. Заливка тонкой неровной струей	Конструкция литниковой системы должна исключать возможность разбрызгивания металла при заливке (образование "корольков"). Заливать металл в формы ровной непрерывной струей с небольшой высоты
	4.4. Недостаточное количество металла в ковше	Не заливать форму, если нет уверенности в достаточном количестве жидкого металла
	4.5. Уход металла из формы	Тщательно собирать полуформы. Предусматривать замки или другие устройства, исключающие уход металла из форм. Выбирать нужную массу груза
5. Спай	5.1. Причины те же, что и указанные в дефекте "недолив" пп. 4.1–4.3	То же, что пп. 4.1–4.3

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
5. Спай	5.2. Дефекты литниковой системы	Изменить литниковую систему так, чтобы не было встречных потоков металла и сократить время заполнения керамической формы
	5.3. Низкая температура керамической формы	Заливку сложных отливок с тонкими стенками проводить в горячие формы. Заливать металл при более высокой температуре (предусмотреть отсутствие пригара, перегрев формы, усадку сплава)
6. Песчаные и шлаковые раковины	6.1. Попадание в полость формы огнеупорных материалов	Тщательно контролировать процесс изготовления полуформ, их сборку, прокаливание. Продувать формы перед заливкой их металлом
	6.2. Разрушение керамической формы	Принимать меры, предупреждающие образование трещин в форме
	6.3. Осыпание футеровки печи и ковша	Поддерживать в порядке и чистоте футеровку печи и ковшей. Своевременно проводить ремонт футеровки
	6.4. Попадание шлака с металлом в форму	Скачивать шлак с зеркала металла перед заливкой его в формы. Применять ковши чайникового типа. В литниковой системе предусмотреть устройство шлакоуловителей

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
7. Газовые раковины	7.1. Повышенная газотворность форм	Выдерживать режим прокаливания форм. Ограничивать время простаивания собранных форм перед заливкой их металлом. Просушивать керамические формы после их хранения перед заливкой металла. Проверять исходные материалы на содержание газотворных веществ
	7.2. Недостаточная газопроницаемость керамических форм	См. п. 4.2
	7.3. Повышенная газонасыщенность металла	См. п. 4.1. Не применять в шихте окисленных и влажных материалов
	7.4. Неправильно спроектированная литниковая система	Система не должна инжектировать воздух в заливаемый сплав
8. Горячие и холодные трещины	8.1. Нетехнологичность конструкции отливки	См. п. 2.4. Трещины более вероятны, если места концентрации напряжений ослаблены усадочными дефектами
	8.2. Высокая температура металла при заливке	Соблюдать оптимальную для данных отливок температуру заливки форм

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
8. Горячие и холодные трещины	8.3. Недостаточная податливость керамической формы	Уменьшить количество связующих в суспензии. Увеличить податливость формы
	8.4. Повышенное содержание вредных примесей в металле (серы), окислов и газов	Применять качественную очищенную шихту, правильно рассчитать ее, тщательно раскислять металл перед заливкой
	8.5. Напряжения от внешних воздействий на отливку на финишных операциях	Для некоторых отливок обеспечить малую скорость затвердевания. Выбивку отливки, отделение литниковой системы проводить без ударов; для некоторых отливок финишные операции очистки проводить после термообработки
9. Окисление и обезуглероживание поверхности отливок	9.1. Окисление и обезуглероживание металла в керамической форме при его охлаждении	Засыпать карбюризатором поверхность залитой формы, быстро охлаждать отливку. Создать восстановительную атмосферу в форме
	9.2. То же, в процессе термообработки	Термообработку проводить в коробах с пересыпкой чугунной стружкой или карбюризатором. Применять печи с защитной атмосферой

Продолжение табл. 3.9

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
10. Нарушение геометрии отливок	10.1. Постоянное отклонение размера отливки по вине модельной оснастки	Довести модельную оснастку по дефектному размеру с учетом всех объемных изменений керамической формы и металла
	10.2. Неточность размера формы из-за несоблюдения технологических режимов ее изготовления	Отработать и соблюдать оптимальные режимы изготовления керамических форм и стержней
	10.3. Образование трещин в форме при изготовлении и прокаливании	См. пп. 2.1–2.4
	10.4. Деформация керамической формы	См. п. 2.7
	10.5. Механические повреждения форм и отливок на различных операциях технологического процесса	Предохранять формы, стержни и отливки от механических повреждений на всех технологических операциях
	10.6. Коробление, искривление отливок	Проверить состояние модельной оснасти и исправить ее дефекты. Изменить конструкцию отливки, вводя технологические приливы, ребра жесткости и элементы, препятствующие короблению. Соблюдать режимы охлаждения отливки в форме и термообработки

3.10. ЛИТЬЕ В ГИПСОВЫЕ ФОРМЫ

В гипсовых формах изготовляют отливки из алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

Из алюминиевых сплавов получают отливки с толщиной стенки 1…2 мм, массой 0,05…100 кг, диаметром 600…700 мм; из магниевых сплавов – тонкостенные отливки (1…2,5 мм) при значительных габаритных размерах (до 0,4…0,5 м); из медных сплавов – отливки массой до 10…20 кг и более с габаритными размерами до 500 мм.

В качестве смесей используют дешевые, недефицитные материалы – гипс, песок, отходы асбеста и др.

Особенностью гипсовых форм является их низкая теплопроводность, что позволяет получать отливки с толщиной менее 1 мм и обеспечивать направленное затвердевание. Хорошая текучесть смесей, гладкая поверхность формы и точность воспроизведения отпечатка позволяют использовать сложные по конфигурации модели.

Гипсовые формы изготовляют по постоянным и выплавляемым моделям. Жидкий металл заливают в холодные и подогретые формы, в зависимости от толщины стенки, сложности конфигурации и габаритов отливки.

Малая теплопроводность и гладкая поверхность формы повышают ее заполняемость жидким металлом, что позволяет получать тонкостенные отливки сложной конфигурации и заливать формы с минимальным перегревом.

Виды дефектов, свойственные литью в гипсовые формы, приведены в табл. 3.10 [2].

3.10. Дефекты отливок, изготовленных литьем в гипсовые формы

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Пористость и газовые раковины	Захват металлом воздуха, находящегося в форме при заливке	Правильно спроектировать литниковую систему

Продолжение табл. 3.10

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Пористость и газовые раковины	Выделение газов, растворенных в металле	Тщательнее рафинировать и модифицировать металл
	Вспушивание нераспушенных волокон асбеста	Соблюдать технологический процесс приготовления формовочной смеси
	Выделение паров воды из недостаточно прокаленной формы	Соблюдать режимы прокаливания форм перед заливкой
Крупные наружные раковины	Кипение металла в форме из-за неполного удаления влаги из формовочного материала, низкой газопроницаемости форм, неполного сгорания воска в форме	Соблюдать режимы прокаливания форм, применять литниковые системы, обеспечивающие выход паров воды и газов
Незаливы и неслитины	Неправильно спроектирована литниковая система	Изменить конструкцию литниково-питающей системы
	Недостаточная скорость заполнения формы металлом	Применять принудительные способы заполнения формы металлом

Продолжение табл. 3.10

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Засоры	Плохо очищена рабочая поверхность формы от попавших в нее песчинок, ручное вырезание литников	Изготовлять формы из гипсовой смеси, не содержащей песка; применять литниковую систему, где стояк ниже уровня воронки на 20…30 мм; литники формовать по модели
Окисление отливок	Образование черных налетов окиси магния на поверхности отливок в результате его окисления	Припылить отверстие стояка смесью, содержащей, % мас.: 50 борной кислоты; 50 порошкообразной серы
Некачественная поверхность	Недостаточная тонкость помола компонентов формовочного материала, наличие пустой породы в гипсе и асбесте	Применять облицовочную смесь, состоящую из компонентов более тонкого помола

3.11. ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Оболочковые литейные формы изготовляют по нагреваемой модельной оснастке из термореактивных песчаных смесей. Форма представляет собой прочную тонкую оболочку толщиной 6…10 мм (иногда до 30 мм) с гладкой рабочей поверхностью и точными размерами полости.

Огнеупорной основой смеси являются кварцевые мелкозернистые пески, которые позволяют получать отливки с чистой поверхностью. Для особо ответственных отливок можно применять высокоогнеупорные, но дорогие цирконовые пески.

В качестве связующего используют смолу пульвербакелит (ПК-104) в количестве 4….9 % от массы песка.

Так как песок и порошкообразная смола при перемешивании в сухом состоянии расслаиваются из-за разницы в плотностях и размерах частиц, для предотвращения разделения песка и пульвербакелита перед их смешиванием песок увлажняют. Для этого используют керосин, машинное масло, стеарин, фурфурол и др.

Равномерное распределение смолы по поверхности песчинок достигается плакированием – покрытием песчинок связующим. Известны два способа плакирования песка: холодный и горячий.

При *холодном плакировании* порошкообразный пульвербакелит предварительно растворяют в ацетоне, а затем при приготовлении смеси этот раствор (смолы и ацетона) смешивают с песком. Затем смесь продувают воздухом для быстрого испарения растворителя, и смесь постепенно высыхает.

В начале перемешивания смесь становится вязкой, а затем комкуется вследствие склеивания зерен раствором и неравномерного испарения растворителя. После твердения комьев, их измельчают до отдельных зерен песка, покрытых твердой пленкой смолы.

При *горячем плакировании* песок предварительно нагревают до 100…130 °С, загружают в работающие бегуны и вводят пылевидную смолу. Смола нагревается, становится вязкой и обволакивает зерна песка тонкой пленкой. После охлаждения смесь измельчают до отдельных зерен, плакированных смолой.

Способ горячего плакирования позволяет получить смеси с высокими физико-механическими свойствами. Но этот процесс более сложен: необходимо нагреть песок и охладить смесь, следить за температурным режимом.

Изготовление оболочковых песчано-смоляных форм и стержней основывается на свойстве термореактивных смол при нагреве до определенной температуры размягчаться, становиться вязкими, а затем с повышением температуры (до 200…250 °С) необратимо затвердевать.

Металлическую плиту с моделью, нагретую до 200…250 °С, покрывают разделительным составом для устранения прилипания к ней оболочки. В качестве разделительных составов применяют

силиконовые жидкости, наиболее распространен СКТ-Р (синтетический термостойкий каучук, растворенный в уайт-спирите).

В специальный бункер насыпают песчано-смоляную смесь. Затем устанавливают горячую модельную плиту, после укрепления которой бункер с песчано-смоляной смесью поворачивают на 180 °С, и в таком положении выдерживают в течение 15…25 с. Под воздействием теплоты смола в слое, прилегающем к модельном плите, размягчается и склеивает песчинки, образуя на модели полутвердую оболочку толщиной 6…12 мм. Остальную сыпучую часть смеси удаляют поворотом бункера в исходное положение. Плиту с оболочкой ставят в печь, где при 300…350 °С в течение 50…60 с оболочка окончательно необратимо затвердевает.

После извлечения из печи готовую прочную оболочку-полуформу снимают с модельной плиты при помощи толкателей. Полуформы собирают (склеивают), если необходимо, ставят стержни (их процесс изготовления аналогичен) и устанавливают в короба (опоки), засыпают песком или чугунной дробью, заливают жидким металлом и получают отливку.

В таких формах получают отливки из чугуна, стали и цветных сплавов массой до 100 кг. Состав смеси зависит от сплава, массы отливки и толщины ее стенки.

По сравнению с литьем в песчаные объемные формы, к преимуществами литья в оболочковые формы относятся повышенная точность и чистота поверхности получаемых отливок, резкое сокращение (в 8–10 раз) расхода формовочной смеси и трудоемкости изготовления отливок.

Кроме общих литейных дефектов, связанных с состоянием модельной оснастки и нарушением режимов выплавки, заливки сплава в форму, отливки, получаемые в оболочковых формах, могут иметь ряд специфических дефектов.

В отливках, получаемых в сухих, прочных и негигроскопичных оболочковых формах, не возникают вскипы, засоры, ужимины и другие дефекты, встречающиеся при литье в песчано-глинистые формы. Отсутствие влаги в оболочковых формах также способствует получению более плотных и качественных отливок.

В связи с быстрым разрушением оболочковой формы и стержня уменьшается опасность возникновения горячих трещин.

Наиболее частым дефектом являются газовые раковины.

Возможность образования пригара при литье в оболочковые формы связана с подбором состава и величины фракции зерновой основы песчано-смоляной смеси, а также оптимальной температуры заливки металла в форму.

Температура заливаемого металла, благодаря наличию гладкой поверхности формы и меньшего ее сопротивления при этом способе литья, может быть уменьшена.

Дефекты отливок, форм и стержней при литье в оболочковые формы из термореактивных песчано-смоляных смесей приведены в табл. 3.11 и 3.12 [7].

3.11. Дефекты отливок, изготовленных литьем в оболочковые формы

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Местная повышенная шероховатость поверхности	Рыхлоты и неплотности оболочки	Повышение текучести смеси, использование вибрации
	Переотверждение формовочной смеси	Снижение температуры модельной оснастки, продолжительности отверждения смеси, содержания уропропина
	Задиры на рабочей поверхности оболочки вследствие неравномерного ее съема с модельной плиты	Регулировка механизма съема оболочек с модельной плиты
	Увеличенный и неравномерный слой разделительного состава на модельной оснастке	Регулярная очистка оснастки от нагара, соблюдение режима нанесения разделительного состава

Продолжение табл. 3.11

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Местная повышенная шероховатость поверхности	Механическое повреждение рабочей поверхности модельной оснастки	Ремонт и зачистка дефектного участка, соблюдение правил хранения и ремонта оснастки
	Перегрев расплава	Соблюдение установленных параметров заливки
	Перегрев и эрозионное повреждение отдельных участков оболочки	Рассредоточение подвода расплава в рабочей полости формы; уменьшение линейной скорости заливки
	Увеличенный статический напор расплава при заливке	Изменение положения отливки в форме до момента перехода отливки в горизонтальное положение (в положение заливки); заливка металла сверху; устройство в форме открытых выпоров (прибылей)
Пригар	Наличие в формовочном песке легкоплавких составляющих и повышенное содержание глинистых составляющих	Применение кварцевых песков с минимальным содержанием примесей, использование песка повышенной температуры спекания (например, цирконового)
Песчаные и шлаковые раковины и засоры	Попадание песка через отверстие литниковой воронки при формовке оболочки и укладке ее под заливку	Закрытие литниковой воронки перед формовкой оболочки

Продолжение табл. 3.11

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Песчаные и шлаковые раковины и засоры	Смыв металлом острых и выступающих участков формы и стержня	Увеличение радиусов закруглений на модели и стержневом ящике
	Рыхлоты и неплотности оболочки	Регулировка оборудования (малая скорость подвода бункера в положение засыпки, недостаточное количество смеси в бункере и др.). Увеличение продолжительности отверждения оболочки
	Неудовлетворительная конструкция литниковой системы в части шлакоулавливания	Применение литниковой системы с надежной системой шлакоулавливания (например, с помощью сетки)
	Небрежная заливка форм	Соблюдение правил заливки; применение чайниковых ковшей
Газовые раковины	Повышенная газотворная способность песчано-смоляной смеси	Снижение содержания смоляного связующего и увеличение периода отверждения
	Недостаточное отверждение оболочки	Увеличение периода формирования и отверждения оболочки
	Недостаточная вентиляционная способность формы и стержня	Использование крупнозернистого песка, устройство выпоров и вентиляционных каналов

Продолжение табл. 3.11

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Науглероживание металла и образование "апельсиновой корки" (см. рис. 44 в Приложении 1)	Повышенная науглероживающая способность песчано-смоляной смеси	Снижение содержания связующего; ввод в смесь окислов железа и карбонатов (до 10 %)
	Малая интенсивность охлаждения отливки	Применение холодильников, охлаждающих ребер и других воздействий; уменьшение коробления оболочки

3.12. Дефекты оболочковых форм

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Отслаивние неотвержденной оболочки от рабочей поверхности рабочей оснастки	Применение низковязкого смоляного связующего или связующего, имеющего длительный период желатинизации	Подбор соответствующего связующего или ввод дополнительно 0,2…0,4 % уротропина, либо 0,05 % борной кислоты от массы смеси
	Неполное удаление растворителя из смеси (при холодном плакировании)	Увеличение продолжительности продувки смеси, использование для продувки воздуха, нагретого до 70…80 °С
	Низкая или неодинаковая температура в разных зонах оснастки	Подъем температуры, изменение расположения нагреваемых устройств

Продолжение табл. 3.12

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Недостаточная толщина оболочки	Низкая температура оснастки	Подъем температуры, изменение расположения нагреваемых устройств
	Недостаточная теплоаккумулирующая способность оснастки	Замена материала оснастки; уплотнение стенок моделей и других элементов оснастки
	Недостаточная продолжительность периода формирования оболочки	Увеличение периода формирования оболочки
	Высокая температура каплепадения смоляного связующего	Использование смоляного связующего с более низкой температурой отверждения
Избыточная толщина оболочки	Высокая температура оснастки	Снижение температуры оснастки
	Избыточная продолжительность периода формирования оболочки	Уменьшение периода формирования оболочки
Поломки, трещины и деформации оболочковых форм и стержней при съеме	Недостаточное количество толкателей в оснастке	Установка дополнительных толкателей в местах затрудненного съема
	Неодинаковый ход толкателей	Проверка высоты хода толкателей, регулировка толкателей
	Образование нагара на оснастке	Регулярная очистка оснастки от нагара

Продолжение табл. 3.12

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Поломки, трещины и деформации оболочковых форм и стержней при съеме	Низкая прочность песчано-смоляной смеси	Соблюдение технологии смесеприготовления, увеличение количества связующего в смеси
	Высокая или неоднородная температура отверждения различных частей оболочки	Снижение температуры оснастки; регулировка нагревателей
	Наличие поднутрений, недостаточные литейные уклоны на оснастке	Ремонт и зачистка дефектного участка оснастки, доводка оснастки, соблюдение режима нанесения разделительного состава
Коробление оболочковых форм	Различное тепловое расширение отдельных элементов оснастки	Изготовление элементов оснастки из одинакового материала
	Неравномерное отверждение оболочки	Регулировка работы нагревательных устройств
	Температурные напряжения при остывании оболочки	Проведение правки горячих полуформ, сокращение интервала между съемом оболочки и поступлением ее на склейку

3.12. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ПЛЕНОЧНОЙ ФОРМОВКИ

Сущность вакуумно-пленочной формовки (ВПФ) заключается в том, что в этом процессе используют термопластичную синтетическую пленку (толщиной 0,05…0,1 мм) для облицовки рабочей поверхности, плоскости разъема и контрлада полуформы, что обеспечивает ее герметизацию. В качестве формовочного материала применяют сыпучий огнеупорный материал без связующего. Огнеупорный материал уплотняется за счет создания неглубокого вакуума (порядка 50 кПа) внутри полуформы.

Для отливок, изготовляемых методом ВПФ, специфическими дефектами являются газовые раковины, пригар, оседание (обвал) формы, нарушающие геометрию отливок и др. (табл. 3.13) [14].

Эти дефекты возникают и в отливках, изготовленных другими способами, но характер и причины их образования присущи только отливкам, изготовленным под вакуумом.

3.13. Дефекты отливок, изготовляемых вакуумно-пленочной формовкой

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины	Разложение пленки и продукты ее сгорания (При температуре 600…700 °С начинается выделение углеводородов, затем выделяются H_2, CO и CO_2)	Повышение температуры заливаемого металла. Нанесение огнеупорного покрытия со стороны отливки (прочная пленка огнеупорного покрытия сдерживает проникновение газов, выделяющихся при разложении и сгорании герметизирующей пленки вовнутрь отливок, а образующиеся газы всасываются внутрь формы). Обязательное наличие выпора

Продолжение табл. 3.13

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Пригар	Перепад давления между рабочей полостью формы и самой формой (это приводит к проникновению в поры между песчинками жидкого металла)	Нанесение огнеупорного покрытия. Добавка в песок пылевидных фракций. Уплотнение песка вибрацией при засыпке в опоку. Поддержание вакуума на минимально возможном уровне
Науглероживание поверхностного слоя металла (возможно на тонкостенных отливках из низкоуглеродистой стали)	Разложение пленки	Медленная заливка (пленка газифицируется до полного заполнения формы, а образовавшиеся газы удаляются через наполнитель)
Нарушение геометрии отливок	Недостаточная прочность формы, отсутствие выпора	Увеличение скорости заливки. Применение незамкнутых литниковых систем. Наличие выпора. Поддержание оптимального режима вакуумирования

Продолжение табл. 3.13

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Окисленные раковины, канавки на поверхности стальных отливок по разъему формы (прилегающий слой формовочного песка образует корку черного цвета – "шлаковую оболочку")	Подсос воздуха по разъему формы	Увеличение жесткости модельной плиты. Снижение разрежения в форме после заливки металла. Отключение формы от вакуумной системы после затвердевания отливки
Включения песка и полимерного покрытия, засоры	Размывание стояка из-за большой скорости заливки	Уменьшение скорость заливки
	Малая величина вакуума при заливке	Увеличение глубины вакуума
	Засор полости формы	Очистка полости формы
	Недостаточно плотное прилегание пленки к поверхности формы	Применение пленки с высокой пластичностью

3.13. ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Отличительные признаки литья по газифицируемым моделям заключаются в использование моделей, выполненных из специального материала. После уплотнения формовочной смеси модель не извлекают из формы; во время заливки испаряется и газифицируется под действием теплоты жидкого металла. При этом разложение модели происходит послойно: жидкий металл, как бы вытесняя модель, заполняет освобождающуюся полость формы.

Материалом для изготовления газифицируемых моделей служит пенополистирол, который получают, вспенивая полистирол, – продукт полимеризации стирола в присутствии порообразователя, в качестве которого чаще всего используют изопетан.

В условиях крупносерийного и массового производства газофицируемые модели изготовляют в пресс-формах спеканием предварительно вспененных гранул полистирола (ПСВ-Л) паром, в кипящей воде, горячим воздухом или токами высокой частоты. Температура спекания составляет 80…140 °С.

При единичном и мелкосерийном производстве модели изготовляют из блоков или плит пенопласта марки ПСБ-Л склейкой и их механической обработкой.

В качестве формовочной смеси можно использовать обычные смеси со связующим, например такие, как жидкие самотвердеющие (ЖСС), холоднотвердеющие (ХТС), песчано-цементные, песчано-глинистые и др. Наиболее предпочтительны ЖСС и ХТС, использование которых позволяет уменьшить опасность деформации и разрушения модели (из-за отсутствия операций уплотнения), увеличить газопроницаемость, прочность и податливость форм.

Перспективы этого способа заключаются в применении сыпучих формовочных материалов без связующего. Это сухой песок и ферромагнитные материалы.

Использование газифицируемой неизвлекаемой модели и особенности формирования отливки являются причиной специфических дефектов (табл. 3.14), присущих данному способу литья [12].

3.14. Дефекты отливок, изготовляемых литьем по газифицируемым моделям

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Газовые раковины	Недостаточная газопроницаемость формы	Увеличение газопроницаемости формы: использование смесей с высокой газопроницаемостью (не менее 180…200 ед); выполнение в форме вентиляционных каналов (∅ 5…8 мм с шагом 50…100 мм); выполнение вокруг массивных моделей вентиляционных колодцев; устройство в форме выпоров
	Высокая скорость заливки	Снижение скорости заливаемого металла
Плены пироуглерода	Слишком низкая (0,4…0,5 см/с) скорость подъема металла (режим разложения модели с зазором)	Увеличение скорости (св. 3 см/с) подъема металла (режим замещения модели движущимся металлом)
Поверхностное науглероживание	Деструкция модели с выделением свободного углерода	Создание окислительной газовой среды в форме за счет введения в формовочную смесь и противопригарную краску веществ-окислителей: $KMnO_2$, $KClO_4$, NH_4NO_3, KNO_3 и др.; за счет подачи в полость формы при заливке углекислого газа CO_2. Уменьшение содержания углерода в металле. Увеличение интенсивности охлаждения отливки. Снижение температуры заливаемого металла

Продолжение табл. 3.14

Наименование дефекта	Причины образования	Меры предупреждения
Подутость	Недостаточная прочность и уплотнение формы	Применение смесей с высокой степенью уплотнения. При использовании сухого песка необходимо его динамическое уплотнение и виброуплотение. При применении ферромагнитных материалов необходимо контролировать (увеличить) индукцию магнитного поля
Волнистость поверхности	Низкая газопроницаемость формы	Использование смесей с высокой газопроницаемостью
	Высокая скорость заливки	Уменьшение скорости заливки
	Неправильный подвод металла	Изменение конструкции литниковой системы

Контрольные вопросы

1. Что такое кокиль? Классификация кокилей, преимущества и недостатки, область применения.
2. Перечислите основные операции при литье в кокиль.
3. Перечислите наиболее характерные дефекты отливок, получаемых литьем в кокиль; чем это можно объяснить?
4. Что такое облицованный кокиль? Способы получения облицовочного слоя.
5. Преимущества и недостатки литья в облицованный кокиль по сравнению с обычным кокилем.

6. Дефекты при литье в облицованный кокиль; как избежать их образования?

7. В чем сущность литье под давлением? Классификация, область применения.

8. Почему отливки, получаемые литьем под давлением, не рекомендуют подвергать термообработке?

9. Дефекты при литье под давлением, дайте анализ причин и предложения по их устранению.

10. Какие способы литья под регулируемым давлением существуют, в чем их сущность, преимущества и недостатки, область применения?

11. Сущность литья под низким давлением, преимущества и недостатки способа.

12. Литье с противодавлением, особенности технологии.

13. Особенности технологии литья вакуумным всасыванием.

14. Вакуумно-компрессионное литье, его особенности.

15. Наиболее характерные дефекты, возникающие при литье под регулируемым давлением; причины и способы предупреждения.

16. Литье с кристаллизацией под давлением. Разновидности процесса и преимущественная область использования.

17. За счет чего происходит резкое повышение механических и служебных свойств металла при литье с кристаллизацией под давлением?

18. Причины возникновения дефектов при литье с кристаллизацией под давлением. Как их избежать?

19. Сущность и разновидность литья выжиманием, область применения.

20. Преимущества литья выжиманием, характерные дефекты и причины их образования.

21. В чем сущность центробежного литья? Разновидности способа, область применения, преимущества и недостатки.

22. Основные параметры при центробежном литье. На образование каких дефектов они влияют?

23. Из каких сплавов не рекомендуют получать отливки центробежным способом и почему?

24. Наиболее характерные дефекты при центробежном литье и причины их образования.

25. В чем сущность литье по выплавляемым моделям, преимущества и недостатки?

26. Что такое гидролиз этилсиликата? С какой целью его проводят? Разновидности гидролиза.

27. Какие дефекты при литье по выплавляемым моделям могут возникнуть в отливке по вине металла и по вине оболочки и почему?

28. Что такое обезуглероживание металла? Причины образования дефекта и меры по устранению.

29. Особенности литья в керамические формы по постоянным моделям, преимущества и недостатки, область применения.

30. Основные дефекты, возникающие при литье в керамические формы. Как их избежать?

31. Особенности гипсовых форм, специфические дефекты. Причины образования и меры предупреждения.

32. Сущность технологии литья в оболочковые формы. Какие смеси используют при этом? Особенности их приготовления.

33. Дефекты оболочковых форм. Как их устраняют?

34. Наиболее характерные дефекты металла отливок при литье в оболочковые формы. Причины их образования.

35. Особенности вакуумно-пленочной формовки, материалов и оснастки. Область применения, преимущества и недостатки.

36. Причины возникновения дефектов при изготовлении отливок вакуумно-пленочной формовкой.

37. Сущность литья по газифицируемым моделям. Особенности, преимущества способа.

38. Характерные дефекты при литье по газифицируемым моделям, причины возникновения и способы предупреждения.

Глава 4

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ОТЛИВКАХ

Для уменьшения потерь от брака, наряду с правильной классификацией дефектов, причинами образования и мерами их предупреждения, немаловажное значение имеет правильное и своевременное выявление дефектов. Решение этой проблемы во многом определяется организацией технического контроля, которая охватывает широкий круг вопросов: от контроля исходных материалов и отдельных технологических операций до контроля готовых отливок.

Технический контроль – проверка соответствия объекта установленным требованиям. Эти требованиям содержатся в следующих документах, регламентирующих проведение контроля: стандартах, ТУ, чертежах, технологических и операционных картах, производственных инструкциях и др.

В данном разделе рассмотрены классификация видов контроля, применяемых в литейном производстве, и основные способы выявления дефектов неразрушающими методами.

4.1. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Все многообразие различных видов технического контроля можно классифицировать по следующим признакам: объекту, типу проверяемых параметров и признаков качества, стадии создания и существования продукции, положению в производственном процессе, полноте охвата контролем, по влиянию на возможность последующего использования продукции, по использованию средств контроля и др. [1, 13, 18].

Объектами технического контроля в литейном производстве могут являться:

– исходные, промежуточные и конечные результаты производственных процессов, например, основные и вспомогательные

исходные материалы, технологическая оснастка, литейные формы и стержни, формовочные и стержневые смеси, вспомогательные формовочные составы, готовые отливки;

– составляющие производственный процесс технологические операции литейного производства.

Контролю могут подвергать следующие параметры и характеристики: геометрические, физические свойства (теплотехнические, электрические, магнитные и др.), механические свойства материалов (прочность, пластичность, ударная вязкость, твердость), химические свойства (химический анализ, химическая стойкость в различных средах), литейные свойства, металлографические (микро- и макроструктура), специальные (герметичность, износостойкость и др.).

В соответствии с ГОСТ 16504–81 технический контроль классифицирован следующим образом.

1. *По стадии создания и существования продукции*:

– производственный контроль – контроль, осуществляемый на стадии производства (изготовления) продукции;

– эксплуатационный контроль – контроль, осуществляемый на стадии эксплуатации продукции.

2. *В зависимости от этапа в производственном процессе*:

– входной контроль – контроль сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и другой продукции, осуществляемый потребителем или заказчиком;

– операционный контроль – контроль продукции или технологического процесса во время его выполнения или после завершения определенной операции;

– приемочный контроль – контроль готовой продукции после завершения всех операций по ее изготовлению;

– инспекционный контроль – контроль, осуществляемый специально уполномоченными лицами с целью проверки эффективности ранее выполненного контроля.

3. *В зависимости от полноты охвата*:

– сплошной контроль – контроль каждой единицы продукции в партии, этот метод контроля применяют при производстве отливок ответственного назначения;

– выборочный контроль – проверка нескольких, выбранных наугад заготовок, от всей партии отливок;

– летучий контроль – контроль, проводимый в случайное время, применяется при стабильных технологических процессах (правила осуществления внезапности устанавливаются стандартом предприятия);

– непрерывный контроль – контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит непрерывно (предполагает проверку нестабильных технологических процессов, осуществляется, как правило, автоматическими и полуавтоматическими средствами);

– периодический контроль – контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит через установленные интервалы времени (применяется при стабильных технологических процессах).

4. *По возможности дальнейшего использования продукции*:

– разрушающий контроль – контроль, при котором возможно нарушение пригодности продукции к использованию по назначению;

– неразрушающий контроль.

5. *По степени использования средств контроля*:

– измерительный контроль – контроль, осуществляемый с применением средств измерения;

– регистрационный контроль – контроль, осуществляемый на основе подсчета или регистрации значений контролируемых параметров продукции или процессов;

– органолептический контроль – контроль, при котором первичная информация воспринимается с помощью органов чувств человека (частный случай – визуальный).

Одним из видов контроля качества продукции является испытание.

Испытание – экспериментальное определение количественных или качественных характеристик свойств объекта испытания при воздействии на него (например, условий внешней среды), при его функционировании или при моделировании объекта.

Объектом испытания могут быть:

– *макет* – изделие, представляющее упрощенное воспроизведение объекта испытания или его части;

– *модель* – изделие, воспроизводящее объект испытаний или его часть в определенном масштабе;

– *образец* – единица продукции или ее часть, полученная в опытном (опытные образцы для испытания) или серийном и массовом производстве (серийные образцы для испытания).

С практической и экономической точек зрения наиболее важным является разделение всех видов контроля на разрушающие и неразрушающие.

Разрушающему контролю обычно подвергают экспериментальные отливки в целях доработки или изменения технологии литья перед запуском в производство и приведения их качества в соответствие установленным требованиям. К наиболее часто применяемым методам разрушающего контроля относят контроль химического состава металла отливок, структуры и механических свойств. Естественно, что отливки, подвергнутые разрушающему контролю, не могут использоваться по назначению. Поэтому разрушающий контроль применительно к готовой отливке может быть только выборочным.

В то же время, для ответственных отливок специального назначения применяют сплошной контроль разрушающими методами, но в этом случае информацию о свойствах, структуре и других параметрах литого металла получают на специальных образцах или пробах.

Неразрушающий контроль не оказывает влияния на свойства и качество отливок, их работоспособность и надежность. Обеспечивая высокую достоверность результатов контроля, снижение потерь времени и материальных затрат, этот вид контроля находит все более широкое применение, в том числе и в литейных цехах.

4.2. МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Методы неразрушающего контроля – это физические методы контроля, включающие методы обнаружения или измерения основных свойств или рабочих характеристик материалов или деталей (отливок) в целях установления их пригодности.

Характерной особенностью большинства методов неразрушающего контроля является то, что с их помощью дефекты, как правило, выявляются косвенным методом. В местах расположения дефектов обычно изменяются физические характеристики материала детали (например, магнитная проницаемость, электропроводность, акустическое сопротивление и др.). Причем сами эти характеристики не оказывают существенного влияния на эксплуатационные параметры контролируемого объекта, по ним лишь судят о наличии или отсутствии дефекта. Например, при магнитных методах контроля для выявления дефектов определяется наличие или отсутствие магнитных полей рассеяния. При этом сами по себе магнитные поля рассеяния не оказывают влияния на качество детали (например, долговечность), но выявляемые при этом дефекты оказывают существенное влияние на качество детали.

ГОСТ 18353–79 предусматривает 9 основных видов неразрушающих методов контроля: магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, акустический и проникающими веществами. Последний в свою очередь подразделяют на капиллярный и контроль течеисканием.

Из этих методов контроля в литейном производстве наиболее широко применяют акустический, проникающими веществами, магнитный, электрический, вихретоковый, радиационный и оптический.

К неразрушающим методам контроля, не регламентируемым ГОСТ 18353–79, можно отнести также такие традиционные методы контроля, широко используемые на практике, как контроль геометрических размеров, шероховатости поверхности и герметичности отливок, а также новые методы – лазерный и томографии, которые пока не нашли широкого применения в литейном производстве.

4.2.1. Визуально-оптический контроль

Первым видом контроля при выявлении тех или иных недостатков является внешний осмотр отливки. С помощью визуального контроля оценивают качество поверхности, а также явно выра-

женные поверхностные дефекты: трещины, пригар, открытые усадочные и газовые раковины, утяжины и др. Визуальной оценке подвергают все отливки.

При визуально-оптическом контроле для более детального рассмотрения дефектов, выходящих на поверхность, рекомендуют применять лупы, которые позволяют обнаружить близко расположенные поверхностные дефекты размером до 0,01 мм. Для контроля удаленных частей отливки применяют телескопические лупы.

Для контроля внутренних поверхностей и обнаружения дефектов в труднодоступных местах используют гибкие и жесткие эндоскопы. Выявление дефектов с помощью эндоскопов заключается в осмотре объекта с помощью специальной оптической системы, позволяющей передавать изображение на значительное расстояние.

4.2.2. Контроль проникающими веществами

Этот вид контроля включает капиллярный метод обнаружения дефектов и с помощью течеискателей.

Для обнаружения мелких дефектов (несплошностей, трещин, микропор), выходящих на поверхность, которые не удается обнаружить при визуально-оптическом контроле, применяют капиллярную дефектоскопию.

С целью выявления дефектов отливок ответственного назначения, работающих под избыточным давлением жидкости или газа, применяют контроль на герметичность, который осуществляют с помощью течеискателей.

4.2.2.1. Капиллярная дефектоскопия

Капиллярная дефектоскопия основана на явлениях смачивания и капиллярного поднятия, а также световом и цветовом контрастах веществ, используемых при проведении контроля.

Различают цветной и люминесцентный методы капиллярной дефектоскопии.

Цветной метод. Поверхность отливки очищают, обезжиривают и просушивают. Затем отливку погружают на 5…10 мин в специальный раствор (пенетрант), окрашенный особым красителем. Обычно этот раствор имеет красный цвет. После этого краситель смывают холодной водой, а поверхность отливки покрывают тонким слоем белой краски (или глины) – проявителем, высушивают ее и выявляют дефекты. В местах расположения дефектов появляется ярко окрашенный узор (индикаторный след) – результат впитывания краской раствора, оставшегося в углублениях и трещинах.

Этим методом можно выявить и сквозные трещины. Для этого краситель наносят на внутреннюю поверхность отливки, а контроль ведут по наружной поверхности. В этом случае отливку не погружают в раствор с красителем, а наносят его кистью или пульверизатором.

Люминесцентный (*флюоресцентный*) *метод.* Флюоресценция – способность некоторых веществ превращать невидимое излучение в излучение, воспринимаемое человеческим глазом. Обычно используют ультрафиолетовое излучение.

Отливку очищают, обезжиривают и подогревают до 50… 60 °С (для лучшего проникновения в поры пенетранта), на ее поверхность наносят раствор или погружают ее в ванну с флюоресцирующей жидкостью (пенетрантом) на 10…20 мин. Эта жидкость проникает в тонкие трещины, поры, раковины. Затем отливку промывают водой и просушивают на воздухе. На поверхность отливки наносят (опыляют) сухой тонкоизмельченный порошок (проявитель) окиси магния (MgO) или углекислого магния ($MgCO_3$). Этот порошок хорошо вытягивает и впитывает из трещин и пор флюоресцирующую жидкость, оставшуюся в дефектах. После 20…30 мин выдержки отливку устанавливают под ультрафиолетовый свет, и по появлению яркого свечения порошка (по индикаторному следу) определяют наличие и размеры поверхностных дефектов.

Люминесцентный и цветной методы контроля позволяют надежно выявлять наружные дефекты, которые не обнаруживаются в результате внешнего осмотра отливок.

Простейшими методами капиллярного контроля являются *мыльная* и *керосиновая пробы*, которые могут применяться при отсутствии специальных дефектоскопических материалов.

При использовании *мыльной пробы* контролируемую поверхность отливки очищают, обезжиривают и на нее наносят мыльный раствор, который проникает в капиллярные каналы и вытесняет из них воздух. Воздух в виде пузырьков выходит на поверхность и очерчивает дефект.

Технология выявления поверхностных дефектов с помощью *керосиновый пробы* заключается в том, что на предварительно очищенную и обезжиренную поверхность отливки наносят слой керосина, который обладает хорошей проникающей способностью. Затем после протирки ветошью на поверхность наносят меловое покрытие, в которое впитывается оставшийся в полости дефекта керосин. В результате на поверхности отливки образуется хорошо различимый индикаторный след.

4.2.2.2. Контроль герметичности

Отливки, работающие под избыточным давлением жидкости или газа, а также при разряжении (в вакууме), контролируют на герметичность. Для этого все отверстия в отливке закрывают заглушками, и на специальных стендах проводят гидравлические (водой или керосином), пневматические (сжатым воздухом) испытания или проверку гелиевыми и галоидными течеискателями. Потеря герметичности отливок наступает, если в них имеются сквозные дефекты: трещины, пористость, рыхлота, коррозия.

Герметичность – способность отливки выдерживать давление жидкости или газа без течи. Мерой герметичности является минимальное давление, при котором возникает течь.

Простейшее испытание – проба керосином, который наливают в отливку. Он хорошо проникает в рыхлоты, трещины, раковины. При сквозных дефектах, через несколько часов на поверхности

отливки появляется темное пятно просочившегося керосина. Для отливок с большим количеством отверстий, окон применяют другие методы.

Гидравлическое давление, число испытаний и выдержку устанавливают чертежом или ТУ на изготовление и приемку отливок. По просачиванию воды (керосина) в виде капель и по запотеванию поверхности отливки определяют герметичность или проницаемость стенки отливки. Давление воды при гидравлических испытаниях обычно превышает в 1,5…2,0 раза рабочее давление, указанное в чертежах, $p_{раб} = (1,5…2,0)p_{черт}$.

При пневмоиспытаниях поверхность детали смачивают мыльной водой и плавно повышают давление. Если деталь негерметична, на ее поверхности появляются пузырьки пены.

При отработке технологии вновь осваиваемых литейных сплавов их герметичность проверяют на специальном образце в виде стакана, который отливают в песчаную форму. Размеры образца Ø 50 мм, толщина стенки 4 мм. Испытывают образец давлением инертного газа. Объем проникшего через стенки образца газа фиксируют в специальном измерительном цилиндре. По величине утечки производят качественную оценку степени герметичности сплава в баллах.

Проверку герметичности осуществляют *гелиевыми течеискателями*. Этот метод используют для проверки на герметичность ответственных отливок. Технология этого метода заключается в следующем. Из испытуемой отливки (перед присоединением к течеискателю) откачивают воздух вакуум-насосом. Вакуумметром измерят вакуум, одновременно с помощью вакуумных насосов течеискателя в масс-спектрометрической камере создается высокий вакуум. После этого отливку присоединяют к течеискателю через кран и обдувают ее тонкой струей гелия или воздушно-гелиевой смесью. Гелий проникает через мельчайшие неплотности литых стенок внутрь отливки и оттуда откачивается в вакуумную систему течеискателя и частично попадает в масс-спектрометрическую камеру. Здесь происходит улавливание гелия, а ток, создаваемый ионами гелия, усиливается с помощью усилителя и приводит в действие индикатор и звуковой сигнал-сирену. По отклонению

стрелки индикатора тока определяют величину неплотности в отливке.

Галоидный метод основан на явлении скачкообразного возрастания эмиссии положительно заряженных ионов с накаленного платинового электрода в присутствии галоидосодержащих газов (фреона, четыреххлористого углерода, хлороформа и др.). Рабочая газовая смесь под давлением 20…60 кПа подается в полость контролируемой отливки, и при наличии в ней сквозных дефектов попадает в течеискатель, в котором имеются два электрода. Галоидный газ ионизируется, происходит резкое увеличение тока между электродами, что и фиксируется показывающим устройством течеискателя.

Галоидные течеискатели используют для выявления более грубых дефектов несплошности отливок, когда не удается обеспечить в отливке вакуум.

4.2.3. Радиационные методы контроля

Методы радиационного контроля подразделяются в зависимости от вида и источника ионизирующего излучения или способа регистрации интенсивности изучения.

Радиационный контроль основан на просвечивании контролируемого объекта (отливки) ионизирующим излучением. В результате взаимодействия ионизирующего излучения с материалом отливки происходит ослабление интенсивности лучей. Наличие в отливке внутренних дефектов (усадочных раковин, пористости, неметаллических включений и др.) ослабляет интенсивность выходящего пучка излучения. Интенсивность прошедших через отливку лучей меньше и в случае более плотного материала и более толстой стенки отливки.

В зависимости от способа регистрации интенсивности излучения радиационный контроль делится на три группы: радиографический, радиоскопический и радиометрический.

При *радиографическом способе* радиационное изображение контролируемой отливки фиксируется на специальной радиографической пленке или на ксерорадиографической пластине.

При регистрации на пленке степень почернения ее тем больше, чем больше интенсивность проникающего излучения. Этот метод позволяет определить глубину залегания дефекта. Недостатком метода является низкая производительность, устраняют его за счет уменьшения времени экспозиции – использованием усиливающих экранов (металлических и флюоресцирующих).

Ксерорадиографическая пластина представляет собой металлическую подложку, на которую тонким слоем нанесено полупроводниковое вещество (аморфный селен). Применение ксерорадиографического контроля сокращает его продолжительность (до 10 раз) и стоимость (благодаря многократному использованию пластины – до 500…2000 экспозиций). Отсутствие гибких пластин, хрупкость полупроводникового слоя, низкая разрешающая способность ограничивают применение этого метода при контроле фасонных отливок.

Разновидностью радиографического способа является флюорография, нейтронная радиография, томография.

При флюорографии для регистрации ионизирующего излучения используют фотопленку или фотобумагу, а видимое изображение получают на флуоресцентном экране.

Сущность томографии заключается в послойном просвечивании отливки узким параллельным пучком рентгеновского излучения в различных направлениях. Изображение тонкого слоя контролируемой отливки получают синхронным вращением в процессе просвечивания источника излучения и кассеты с рентгеновской пленкой.

Нейтронная радиография основана на просвечивании контролируемой отливки потоком тепловых нейтронов.

При *радиоскопическом методе* радиационное изображение просвечиваемого объекта получают на экране радиоционно-оптического преобразователя непосредственно в процессе контроля. Ионизирующее излучение, пройдя через отливку, попадает на экран, вызывая его свечение.

Для преобразования информации, содержащейся в потоке ионизируемого излучения, прошедшего через контролируемый объект, в его видимое изображение используют различные экраны (флуороскопические, сцинтилляционные и электролюминисцентные), рентгеновские электронно-оптические преобразователи и рентген-видиконы.

Трещины, раковины и другие дефекты выявляются на экране в виде светлых линий и участков.

Радиоскопические методы пока не находят широкого применения для контроля ответственных отливок, так как обладают малой чувствительностью и разрешающей способностью.

Радиометрический метод основан на измерении интенсивности пучка излучения за объектом контроля, осуществляемый с помощью газоразрядных счетчиков или ионизационных камер. При попадании ионизирующего излучения в ионизационную камеру происходит ионизация газа, между электродами в камере возникает электрический ток. Величина тока, определяемая степенью ионизации газа, зависит от интенсивности лучей за объектом.

В литейном производстве радиометрический метод можно применять для контроля отливок простой конфигурации, слитков и заготовок, изготовляемых непрерывным способом.

В зависимости от типа источника ионизирующего излучения различают *рентгеновское*, *гамма-* и *бетаизлучение*. В соответствии с этим в промышленности, в том числе и литейных цехах, для радиационного контроля используют *рентгенодефектоскопию*, *гаммадефектоскопию* и *бетатронную дефектоскопию*.

Рентгеновские и гамма-лучи имеют одинаковую физическую природу, однако источники получения и механизм возникновения их различен. Подобно видимому свету, рентгеновские и гамма лучи представляют собой электромагнитные колебания, но их длина значительно короче длины волны света. Если свет, видимый человеком, имеет длину волны $(4…7) \cdot 10^{-7}$ м, то рентгеновские лучи – $1 \cdot 10^{-9}…6 \cdot 10^{-3}$ м; γ-лучи – $1 \cdot 10^{-12}…1 \cdot 10^{-13}$ м.

Мерой чувствительности радиационных методов контроля является наименьший размер дефекта, выраженный в процентах от толщины просвечиваемого изделия.

4.2.3.1. Рентгенодефектоскопия

Рентгеновское излучение возникает при резком торможении (в результате удара) быстро летящих электронов, испускаемых нагретым катодом, о металлическую поверхность (анод). Выделяющаяся при этом кинетическая энергия движущихся электронов переходит в теплоту и лишь очень незначительная часть ее (1…3 %) идет на образование квантов рентгеновского излучения (рентгеновских лучей).

Наибольшее распространение в дефектоскопии находят рентгеновские установки, в которых источником излучения является рентгеновская трубка, представляющая собой стеклянный корпус с вмонтированными в него двумя электродами. В корпусе трубки создан вакуум $10^{-4}…10^{-5}$ Па. Катод трубки (обычно из вольфрама) имеет вид спирали, помещенной в фокусирующее устройство. Анод трубки выполнен в виде диска из вольфрама и принудительно охлаждается.

При нагреве катод, в силу термоэлектронной эмиссии, становится источником электронов. Приложенное к электродам трубки высокое (анодное) напряжение создает между катодом и анодом электрическое поле, в котором электроны ускоряются по направлению к аноду и ударяются в него с большой скоростью, в результате возникает тормозное рентгеновское излучение. Причем чем больше анодное напряжение, тем больше скорость движения электронов, больше частота и меньше длина волны. А чем короче длина волны рентгеновского излучения, тем больше его проникающая способность, однако с увеличением длины волны повышается чувствительность метода, более короткие волны называют жесткими, более длинные – мягкими.

Рентгеновские лучи обладают свойством воздействовать на фотопленку. Чем больше энергия лучей, прошедших через отливку, тем сильнее их воздействие. Фотопленку обрабатывают обычным способом: проявляют, промывают в воде и фиксируют.

После обрубки и очистки отливки нумеруют в соответствии с технологической картой, размечают и просвечивают. Фотопленку помещают в пакет из светонепроницаемой бумаги, подкладывают

свинцовый лист или лист резины, содержащий свинец, чтобы уменьшить фон излучения (экран защитный). В таком виде пленку укладывают под отливку или в полость отливки. Сверху направляют рентгеновские лучи. Время просвечивания обычно не превышает 10…12 мин.

В соответствии с законом поглощения энергии излучения, рентгеновское излучение, проходя через изделие, имеющее неоднородный материал, имеет различную интенсивность. Более интенсивно излучение, которое встречает на своем пути различные нарушения сплошности (трещины, раковины, пористость). На соответствующих местах пленки появляются потемнения, повторяющие контур этих дефектов.

Рентгеновскими лучами выявляют пороки размером до 1… 2 % от толщины просвечиваемой стенки.

В некоторых случаях вместо фотографирования отливок используют рентгенотелевизионные установки (ПТУ) и рентгенотелевизионные микроскопы (МТР).

Рентгенодефектоскопией легче находить газовые раковины, так как они меньше поглощают лучи, чем шлаковые и песчаные. Отдельные мелкие поры выявить трудно, но места их скопления (рыхлость) определяются довольно легко. Чем больше атомный номер ликвирующего элемента отличается от атомного номера основного металла, тем четче выявляется ликвация.

4.2.3.2. Гамма-дефектоскопия

Этот метод неразрушающего контроля основан на просвечивании отливок гамма-лучами. Для получения гамма-излучения используют искусственные радиоактивные изотопы: кобальт-60, цезий-37, иридий-192 и некоторые другие элементы.

Гамма-установки состоят из источника излучения, помещенного в герметизированную ампулу, которая находится в защитной головке, органа управления, штатива для крепления радиационной головки и перезарядного контейнера.

Орган управления установкой позволяет перемещать ампулу из положения "просвечивание" в положение "хранение", а также перекрывать или выпускать пучок излучения из защитной головки.

При исследовании источник излучения размещают на определенном расстоянии от отливки, с другой стороны отливки устанавливают кассету с фотопленкой. Светочувствительный слой пленки реагирует на гамма-лучи, т.е. засвечивается в местах интенсивного облучения. Если в отливке есть дефект, например, раковина, трещина, пористость, то гамма-лучи в этом месте будут поглощаться менее интенсивно, и после проявления на фотопленке образуется темное пятно.

Методика просвечивания и схема аналогична рентгеноконтролю. Гамма-контроль позволяет исследовать сразу несколько отливок.

Гамма-контроль позволяет обнаружить дефекты, размер которых составляет 0,5…1 % от толщины стенки отливки.

Глубина просвечивания отливок: на основе железа – до 200 мм, титана – до 300 мм, алюминиевая – до 500 мм, магниевые – до 400 мм.

Для определения глубины расположения дефекта в отливке (ее координат) делают два снимка, изменяя расположение ампулы с источником излучения.

4.2.3.3. Бетатронная дефектоскопия

Бетатроны представляют собой индукционные циклические ускорители электронов. Ускорение электронов, генерируемых электронной пушкой или нитью накаливания, осуществляется в ускорительной вакуумной камере по замкнутой круговой орбите под действием переменного поля электромагнита. В результате соударения узкого пучка ускоренных электронов с мишенью возникает жесткое рентгеновское излучение.

Бетатроны позволяют контролировать отливки из стали толщиной до 500 мм, из титана – до 900 мм, из алюминия – до 1000 мм.

4.2.4. Магнитные методы контроля

Магнитные методы – это вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитных полей рассеяния дефектов или магнитных свойств контролируемого объекта. Применяют их только для контроля деталей, изготовленных из ферромагнитных материалов.

Различают *магнитную дефектоскопию* – для выявления поверхностных дефектов, *магнитную структуроскопию* – для оценки структуры и свойств сплавов, *магнитную толщинометрию* – для измерения толщины защитных немагнитных слоев на поверхности отливок из ферромагнитных сплавов.

С помощью магнитной дефектоскопии выявляют трещины, флокены, неметаллические включения, непровары и другие дефекты, находящиеся на поверхности отливки или на глубине до 2… 3 мм.

Основой магнитных методов контроля при выявлении дефектов типа нарушения сплошности материала или инородных включений является возникновение на поверхности намагниченной детали магнитных полей рассеяния (МПР).

Надежность обнаружения дефекта зависит от напряженности МПР. Напряженность магнитного поля рассеяния и его характер определяются многими факторами: величиной напряженности намагничивающего поля, магнитной проницаемостью материала отливки, размером и формой отливки, формой, размером, местоположением и ориентацией дефекта.

Чем больше напряженность магнитного поля, тем четче проявляется поле рассеяния и лучше выявляется дефект. С увеличением глубины залегания дефекта напряженность поля рассеяния падает. Наиболее четко обнаруживаются дефекты, расположенные в направлении, перпендикулярном магнитным силовым линиям. Как правило, отливку контролируют после обработки резанием.

Основными операциям магнитного контроля являются: очистка детали от загрязнений, намагничивание, контроль и размагничивание.

Намагничивание детали – главная операция. Проводят намагничивание как всей детали, так и отдельных участков (при помощи контактных электродов, прикладываемых к поверхности отливки). Тип тока, используемый для намагничивания, может быть постоянным и переменным.

Во время выявления дефекта отливка может находиться в магнитном поле, или испытание проводят вне магнитного поля – по остаточной намагниченности, когда отливку, намагнитив, выносят из магнитного поля и проводят контроль.

Размагничивание проводят двумя способами. Первый – отливку нагревают до температуры точки Кюри, когда магнитные свойства сплавов исчезают. Если отливку подвергают термообработке, то ее специального нагрева для размагничивания не требуется. Второй – многократное воздействие на отливку переменным магнитным полем с постепенно уменьшающейся (до нуля) напряженностью.

В зависимости от метода регистрации магнитного поля рассеяния различают следующие методы контроля: магнитопорошковый, магнитографический и феррозондовый.

Магнитопорошковый метод – наиболее распространенный метод магнитного контроля. Магнитные поля рассеяния в местах нарушения сплошности выявляют с помощью ферромагнитного порошка. Суть заключается в том, что в месте расположения дефекта напряженность поля наибольшая, следовательно, на поверхности отливки в этом месте происходит накопление ферромагнитных частиц (образуется валик из ферромагнитного порошка). Причем ширина осевшего порошка будет значительно шире, чем ширина дефекта, что позволяет выявлять незначительные по размеру дефекты.

При этом методе ферромагнитные частицы могут находиться во взвешенном состоянии в воздухе – "сухой" метод или в жидкостях (керосине, воде, минеральном масле), т.е. в виде суспензии – "мокрый" метод. При выявлении поверхностных дефектов лучшие результаты дает "сухой" метод.

В качестве магнитного порошка используют оксиды железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 дисперсностью 0,1…50 мкм.

Контроль отливок и выявление дефектов при магнитопорошковом методе осуществляют визуально. С помощью магнитопорошкового метода можно выявлять поверхностные дефекты шириной от 0,001 мм и более, глубиной – 0,001 мм и более от поверхности, а также относительно крупные подповерхностные дефекты на глубине 1,5…3,0 мм. При глубине залегания дефекта более 3…4 мм выявить его практически невозможно, так как полоса наслоения порошка становится размытой и неясной. Этот метод отличается высокой чувствительностью, простотой, высокой производительностью.

Магнитоферрозондовый метод основан на обнаружении и измерении магнитных полей (в том числе и полей рассеяния, возникающих в зоне дефекта) при помощи феррозонда – магнитодинамического магнитометра.

Магнитометр – прибор, позволяющий обнаружить и измерить магнитное поле. При помощи магнитометра можно определять степень намагниченности ферромагнитного тела по создаваемому им в пространстве магнитному полю.

Конструктивно феррозонд состоит из двух катушек (полузондов). Каждая катушка имеет сердечник и две обмотки: первичную – для возбуждения магнитного поля и вторичную – индикаторную (измерительную). Его работа основана на взаимодействии двух магнитных полей – внешнего измеряемого и внутреннего (возбуждения), образующегося при прохождении переменного тока в первичных обмотках преобразователя. При этом во вторичных обмотках образуется ЭДС, которая и используется для регистрации МПР. После того как отливка или участок отливки с дефектом намагнитят, в этом магнитном поле помещают феррозондовый датчик, и по изменению напряженности магнитного поля и датчика регистрируют величину дефекта, его ориентацию и глубину залегания с помощью сигналов, получаемых с феррозонда.

Вследствие высокой чувствительности с помощью магнитоферрозондового метода можно выявить не только поверхностные и подповерхностные дефекты, но и находящиеся на глубине

10…15 мм (усадочные раковины, газовые раковины и пористость), что является существенным преимуществом.

Магнитографический метод – применяют в основном для контроля сварных швов. С помощью этого метода хорошо выявляют поверхностные дефекты.

Суть этого метода заключается в намагничивании контролируемой зоны для создания над дефектом магнитного поля рассеяния, записи этого поля на магнитную ленту и воспроизведения этой записи для определения расположения и размеров дефекта. Для намагничивания используют постоянный ток.

На контролируемую поверхность плотно с помощью резиновых ремней прижимают магнитную ленту. Затем на этот участок накладывают магнит. В процессе намагничивания детали намагничивается и магнитная лента, причем большую остаточную намагниченность приобретут те участки ленты, которые находятся в более сильных полях рассеяния, т.е. над дефектами.

Затем расшифровывают магнитную запись в магнитографическом дефектоскопе. Для этого ленту помещают в лентопротяжный механизм дефектоскопа, и при движении ее относительно магнитной головки сигнал усиливают и подают на экран осциллографа. О наличии дефекта, его местонахождении и характере судят по длительности, величине и форме импульсов, которые могут быть разнообразными в зависимости от типа дефекта (открытая поверхностная трещина, газовая поверхностная пористость, шлаковое включение и т.д.).

Магнитограмму (магнитную ленту с записью) сравнивают с эталонными магнитограммами, на которых записан тот или иной дефект. Магнитную ленту используют многократно после стирания предыдущей записи.

4.2.5. Вихретоковый (электромагнитный) метод контроля

Электромагнитный метод (метод вихревых токов) применяют для контроля изделий, изготовленных из электропроводящих материалов.

Сущность метода заключается в измерении степени взаимодействия электромагнитного поля специальной катушки (внешнего электромагнитного поля) с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых этой катушкой в контролируемом изделии. Сила вихревых токов, возбужденных в детали, зависит от силы и частоты переменного тока, питающего катушку, электропроводности, магнитной проницаемости и формы изделия, взаимного расположения катушки и изделия, а также от расстояния (зазора) между ними. Кроме того, на силу (величину) вихревых токов влияют нарушения сплошности материала и различные включения, которые создают дополнительное сопротивление и препятствуют протеканию вихревых токов. Поэтому напряженность электромагнитного поля вихревых токов над участком с дефектом будет меньше, чем над бездефектным участком.

По сути дела, при электромагнитном методе контроля взаимодействуют два электромагнитных поля: первичное – возбуждающее, создаваемое специальной катушкой, и вторичное – переменное электромагнитное поле, наведенное в изделии вихревыми токами. По закону Ленца направление этих полей противоположно.

В соответствии с решаемыми задачами электромагнитные методы имеют следующие названия:

– *электромагнитная дефектоскопия* – служит для выявления поверхностных и подповерхностных (на глубине до 4…5 мм) дефектов: трещин, пустот, плен, неметаллических включений, межкристаллитной коррозии;

– *электромагнитная структуроскопия* – предназначена для выявления отклонений от заданного химического состава, позволяет сортировать сплавы по маркам, судить о правильности режима термической и химико-термической обработки, о структуре металла (выявлять ее неоднородность), определять отклонения твердости от требуемой;

– *электромагнитная толщинометрия* – позволяет определять отклонения от заданных формы и размеров изделия, толщину одного из слоев биметалла, измерять толщину гальванических, лакокрасочных и других защитных покрытий.

4.2.6. Акустический контроль

При акустическом контроле используют ультразвуковые колебания частотой 0,5…25 МГц. В соответствии с этим методы акустического контроля называют ультразвуковыми.

Ультразвуковые методы контроля дают возможность выявлять любые несплошности метала: раковины, трещины, рыхлоты, неметаллические включения, а также межкристаллитную коррозию, неоднородность зерна и структуры, форму и размеры графита и др. С помощью ультразвуковых методов можно измерять толщину стенок деталей.

Большим преимуществом ультразвуковых методов контроля является их возможность выявлять дефекты в различных зонах детали: на поверхности, в подповерхностном слое, а также находящиеся на глубине. При этом у внутренних дефектов можно определить не только их наличие, но также координаты и размеры.

Ультразвуковая дефектоскопия основана на поглощении и отражении ультразвуковых волн в твердых телах. При падении ультразвуковой волны на границу раздела двух сред, обладающих различными акустическим сопротивлениями, одна часть их отражается обратно в первую среду, другая часть проходит во вторую среду.

Ультразвуковые волны отражаются от поверхностей отливок, пустот в металлических деталях (трещин, рыхлоты, раковин и т.д.).

Источником колебаний в ультразвуковых дефектоскопах служат электрические генераторы переменного тока. Получаемые в них электрические колебания преобразуются в ультразвуковые с помощью специального преобразователя, основанного на пьезоэлектрическом эффекте. В качестве пьезоэлементов используют кварц, титанат бария, цирконат и титанат свинца.

Пьезоэлектрический эффект – появление электрических зарядов разного знака на противоположных гранях некоторых кристаллов – пьезоэлектриков, при их механических деформациях (сжатии, растяжении и т.п.).

При использовании пьезоэлектрических преобразователей необходимо обеспечить надежный контакт между преобразователем

и поверхностью контролируемого изделия. Наиболее часто при контроле фасонных отливок надежный контакт обеспечивают нанесением на участок контролируемой поверхности тонкого слоя контактной жидкости: минеральных масел, технического глицерина, воды и др.

Существует несколько методов ультразвукового контроля: теневой, эхо-метод, резонансный и др. Применяют их в зависимости от конкретных условий контроля: особенностей контролируемых объектов (материала, размеров, формы, шероховатости поверхности и др.), вида выявляемых дефектов (размеров, местоположения, ориентации) и др.

Теневой метод. С одной стороны контролируемого объекта вводят ультразвуковые колебания, а с другой (строго напротив места ввода) прошедшие через контролируемый объект ультразвуковые колебания регистрируют. Если на пути ультразвуковых колебаний окажется дефект, то часть ультразвуковой энергии отразится и интенсивность прошедших через объект колебаний резко уменьшится, т.е. на приемник упадет "тень" от дефекта. Ослабление интенсивности ультразвуковых колебаний зависит от площади дефекта, площади самого пучка ультразвуковых лучей и расположения дефекта.

Этот метод применяют, когда есть доступ к отливке (к ее стенке) с двух сторон. Теневой метод используют для обнаружения раковин, трещин, зон крупнозернистости.

Недостатки этого метода: малая чувствительность, можно выявить дефект, если он вызывает изменение интенсивности прошедших через объект колебаний на 15…20 %, следовательно, при незначительных по размерам дефектах они не выявляются; трудность определение глубины залегания дефекта.

Эхо-метод (*импульсный метод*). В контролируемый объект посылают короткие импульсы ультразвуковых колебаний (продолжительностью 0,5…8 мкс) и регистрируют интенсивность и время прихода эхосигналов, отраженных от дефекта и противоположной поверхности объекта. Импульсы посылают в контролируемый объект через малые промежутки времени (продолжительностью 1…5 мкс). При этом используют один пьезоэлемент, кото-

рый сначала излучает ультразвуковые колебания (излучающая искательная головка), затем их улавливает (приемная искательная головка).

Если упругие колебания (импульс) встретят на своем пути дефект, то они от него отражаются и как эхо попадают обратно на излучающую головку. Остальная часть колебаний, достигнув противоположной стороны объекта, отражается от границы раздела объект–воздух и тоже в виде эха попадает на излучающую головку. При этом эхосигнал от дефекта возвращается к искательной головке раньше, чем от противоположной стороны (дна) объекта, поэтому на экране электронно-лучевой трубки дефектоскопа появляется сначала импульс от дефекта, затем "донный" импульс. На экране они располагаются одни за другим на расстоянии, пропорциональном времени их возвращения.

При прохождении через объект упругие колебания теряют часть своей энергии, и тем большую, чем крупнозернистей материал.

Преимущества эхо-метода перед теневым: можно контролировать объекты при одностороннем доступе к ним, более высокая чувствительность, можно определять координаты месторасположения дефекта; по величине амплитуды ориентировочно можно судить о размерах дефекта.

Резонансный метод ультразвукового контроля основан на возбуждении в контролируемом объекте стоячих волн. Поэтому при резонансном методе используют незатухающие колебания, т.е. колебания высокой частоты, вырабатываемые генератором, излучаемые в контролируемый объект непрерывно.

Стоячие волны образуются только в случае наступления резонанса, т.е. при условии совпадения собственной частоты колебаний контролируемого объекта и частоты возбуждаемых в нем упругих колебаний.

При контроле генератор настраивается на резонансную частоту объекта определенной толщины. При изменении толщины контролируемого объекта (в разных местах отливки) резонанс исчезает, исчезает он и при наличии дефекта внутри объекта, что подлежит фиксации.

С помощью резонансного метода, зная частоту излучаемых ультразвуковых колебаний и скорость их распространения в материале контролируемого объекта, можно определить его толщину или расстояние до дефекта. Основная область применения резонансного метода – контроль отливок небольшой толщины при одностороннем доступе.

4.3. КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК

При **контроле геометрических размеров** оценивают степень приближения истинных размеров отливки к размерам, указанным на чертеже. Размеры отливки могут отличаться от заданных в чертеже из-за усадки сплава, неточности выполнения элементов модели, износа центрирующих штырей и втулок, моделей, а также стержневых ящиков, коробления сушильных плит (драйеров) и песчаных стержней, зазоров между двумя полуформами при сборке и др.

Соответствие размеров отливки и чертежа устанавливают путем разметки на специальных разметочных столах (плитах) с помощью скоб, кондукторов, мерительного инструмента и различных приспособлений. Выявляют коробление, перекос, подутость, разностенность, недолив. Для определения разностенности отливок, смещений, измерения внутренних полостей отливки иногда разрезают.

Разметке, как правило, подвергают первые отливки из партии, вновь запускаемой в производство, индивидуальные отливки, а также отливки, изготовленные после замены или капитального ремонта модельного комплекта.

Качество поверхности отливки в целом оценивают по **степени шероховатости поверхности и наличию поверхностных дефектов** в виде неотделимого пригара, окислов, ужимин и др. Шероховатость поверхности отливок оказывает влияние на прочностные свойства, коррозионную стойкость, долговечность, товарный вид литых деталей. Если же литая деталь предназначена для работы в потоке газов или жидкостей, то от состояния литой

потоке газов или жидкостей, то от состояния литой поверхности зависят производительность (подача) и долговечность машин (насосов, турбин, вентиляторов и др.).

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, рассматриваемых в пределах базовой длины.

В соответствии с ГОСТ 2789–73 к основным параметрам шероховатости относятся: среднее арифметическое отклонение профиля в пределах базовой длины участка поверхности – *Ra*; высота неровностей профиля по десяти точкам – *Rz*, а также наибольшая высота неровностей профиля – *R*max, т.е. расстояние между линией выступов и линией впадин профиля, проведенных через максимальную вершину и впадину.

Для исследования шероховатости поверхности отбирают отливки-представители, поверхность которых обработана (очищена) согласно установленному технологическому процессу. Для замера выбирают участки поверхности отливок без литейных дефектов. Размеры дефектов (допустимые) оговаривают отдельно.

Контроль шероховатости поверхности осуществляют контактными и бесконтактными приборами.

Принцип действия *контактных приборов* состоит в ощупывании контролируемой поверхности (на выбранной длине) алмазной иглой с радиусом закругления 2 или 10 мкм. Сообщаемое при этом игле осевое перемещение фиксируется индикатором часового типа или преобразуются в электрические или световые сигналы. Эти сигналы после усиления выдают результаты обмера микропрофиля по шкале (стрелочной или цифровой) показывающего прибора (профилометр) или в виде профилограммы в увеличенном масштабе передаются на записывающий прибор – профилограф.

Бесконтактные приборы – оптико-механические устройства. Их работа основана на принципе светового сечения (ПСС) и теневого сечения (ПТС). Приборы светового сечения используют для контроля грубых поверхностей *Rz* = 40…320 мкм, 4…10-й класс по ГОСТ 2789–73), приборы теневого сечения – для контроля чистых поверхностей (*Rz* = 0,5…40 мкм, 1…3-й класс шероховатости).

По принципу светового сечения работают двойные микроскопы В.П. Линника. Прибор состоит из массивного чугунного основания, на котором смонтированы микроскоп наблюдения, микромеханизм точной наводки и проектирующий (осветительный) микроскоп. Узкий пучок света направляется под углом к поверхности металла и освещает ее. Линия пересечения узкого светового потока и контролируемой поверхности представляет собой кривую микронеровностей. Освещенную узкую поверхность рассматривают в микроскоп, и с помощью отсчетного устройства измеряют высоту неровностей в микронах.

В приборах теневого сечения также два микроскопа – наблюдения и проецирующий. При определении шероховатости этим прибором на расстоянии 0,1 мм от объекта (детали) помещают линейку со скошенной поверхностью, которая срезает часть пучка света. На поверхности детали видна тень, отбрасываемая линейкой. Верхний край тени отображает профиль поверхности детали. Этот профиль и рассматривают в микроскоп.

Для качественной оценки шероховатости поверхности отливок используют следующие методы.

1. Сравнение с эталонами шероховатости, представляющими собой набор плиток с заранее установленной шероховатостью. Шероховатость исследуемой поверхности сравнивают с эталоном путем визуального сопоставления; с помощью ощущения, полученного при ощупывании сравниваемой поверхности и эталона; сравнения шероховатости поверхности с эталоном с помощью приборов.

2. Контроль шероховатости крупных отливок (в частности, чугунных в станкостроении) ведут по стандартным комплектам рабочих образцов шероховатости, у которых шероховатость предварительно установлена.

3. На крупных отливках, особенно в труднодоступных местах, где нельзя воспользоваться приборами, используют метод снятия слепков (из воска, легкоплавких сплавов, целлулоида и др.). Полученные слепки литой поверхности подвергаются контролю так же, как в п. 1, и с использованием эндоскопов.

Контрольные вопросы

1. Что такое технический контроль? Его задача?

2. Классификация видов технического контроля.

3. Определение неразрушающих методов контроля. В чем их сущность?

4. Перечислите методы неразрушающего контроля.

5. Какие дефекты можно выявить при визуально-оптическом контроле и какие средства контроля при этом используют?

6. В чем суть контроля проникающими веществами? Его разновидности, область применения.

7. На чем основана капиллярная дефектоскопия? Ее разновидности и технология.

8. Особенности мыльной и керосиновой проб.

9. Виды испытаний на герметичность; в чем их сущность?

10. По каким признакам подразделяют радиационные методы контроля? В чем суть радиографического, радиоскопического и радиометрического способов?

11. В чем суть рентгенодефектоскопии и гамма-дефектоскопии? Что общего и в чем разница этих методов? Какие дефекты выявляют этими методами контроля?

12. Бетатронная дефектоскопия; на чем она основана?

13. Физическая сущность магнитных методов контроля; какие задачи можно решать этими методами?

14. Технология, область применения и методы магнитной дефектоскопии. Сущность электромагнитных (вихретоковых) методов контроля, их разновидности.

15. Ультразвуковой контроль, область применения, физическая сущность.

16. Что такое пьезоэлектрический эффект? Как он используется при ультразвуковом контроле?

17. Перечислите методы ультразвукового контроля. В чем заключается их особенности?

18. В чем смысл контроля геометрических размеров? Какие средства контроля и какие дефекты выявляют?

19. Что такое шероховатость поверхности отливки? Ее основные параметры.

20. Способы контроля шероховатости поверхности отливок.

21. В чем суть контактных и бесконтактных методов контроля шероховатости поверхности отливок? Какие приборы для их реализации существуют?

22. Что используют для качественной оценки шероховатости поверхности отливок?

Глава 5

ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК

Количество и размеры допускаемых в отливках дефектов определяются техническими условиями на данный вид отливок. Для уменьшения потерь от брака технологический процесс изготовления отливок предусматривает исправление дефектов с последующим повторным контролем участков отливки, на которых они были обнаружены.

Основными средствами исправления дефектов отливок являются *заварка*, *заделка эпоксидными компаундами*, *пропитка герметизирующими материалами и декоративное исправление отливок мастиками* [2, 3, 10].

5.1. ЗАВАРКА ОТЛИВОК

Заварка отливок является наиболее надежным и поэтому широко применяемым способом исправления дефектов из чугуна, стали и цветных сплавов. Заваркой устраняют большинство дефектов в отливках: усадочные раковины и рыхлоты, незаливы, трещины, неплоскостность и др.

Перед заваркой отливки очищают от загрязнений, дефектные участки разделывают до здорового металла; рыхлоты, включения оксидов шлака и формовочной смеси и трещины вырубают пневматическим зубилом, удаляют слесарным инструментом (шарошкой, напильником и т.д.) или обработкой резанием (фрезерованием, токарной обработкой и т.д.).

Крупные раковины вырубают до исчезновения черновин. При скоплении раковин или засора на небольшой площади удаляют сразу всю группу дефектов на глубину их залегания. При недоливах место наплавки зачищают снятием тонкого слоя металла с поверхности отливки. Трещины вырубают на всю длину и глубину. Чтобы трещина в процессе заварки не распространялась дальше, необходимо на расстоянии 5…10 мм от ее концов просверлить от-

верстия диаметром 6…8 мм – сквозные при сквозных трещинах, и на глубину, превышающую глубину трещины на 2…3 мм, при несквозных.

Стенки отливки в местах разделки дефекта должны быть наклонены к вертикали на угол 45…60° для обеспечения свободного доступа наконечника сварочной горелки или электрода по всей поверхности разделанного под заварку дефекта.

Отливки, подлежащие заварке, как правило, подвергают местному или общему нагреву газовыми горелками, в термических или специальных электрических печах. Заварку дефектного места начинают с оплавления его поверхности сварочной горелкой без применения присадочного материала. Если на всей оплавленной поверхности образуется чистая и гладкая ванна расплавленного металла, можно продолжать заварку дефекта с применением присадочного материала. В случае обнаружения на оплавленной поверхности рыхлот и засоров необходимо провести повторную, более глубокую разделку дефектного места обработкой резанием.

5.1.1. Заварка отливок из стали

Для заварки мелких отливок из стали в точном машиностроении наибольшее применение получила аргонодуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом при прямой полярности тока. Аргонодуговой сваркой исправляют большинство дефектов стальных отливок, изготовляемых по выплавляемым моделям.

Более крупные стальные отливки, изготовляемые в песчаных формах, исправляют ручной электродуговой или полуавтоматической сваркой в среде защитного газа.

Заварку отливок из углеродистых сталей производят с подогревом до 150…200 °С, а из большинства легированных – с подогревом до 300…400 °С. При небольших объемах заварки применяют местный подогрев в зонах выборок, подлежащих исправлению. Отливки из стали 12Х18Н9ТЛ заваривают без подогрева. Тип и марку сварочных электродов или проволоки для полуавтоматической заварки выбирают в зависимости от марки стали завариваемой отливки.

Хорошее качество заварки мелких дефектов отливок из легированных сталей, получаемых литьем по выплавляемым моделям, обеспечивает микроплазменная сварка на установках типа МПУ-М. Этим способом заваривают рыхлоты, микротрещины, расслоения и другие дефекты, расположенные на открытых поверхностях (не в углах) окончательно обработанных отливок, когда применять другие способы сварки нельзя из-за опасности деформации детали.

Наибольшие затруднения вызывает заварка дефектов, расположенных в угловых сопряжениях. Применять микроплазменную сварку в этом случае не всегда удается из-за плохого доступа к дефекту острия дуги; игольчатая микроплазменная дуга перебрасывается с одной поверхности на другую, не попадая в зону дефекта. Поэтому для заварки таких дефектов применяют специальные малогабаритные горелки. Заварку проводят аргонодуговой сваркой.

Заварка дефектов в отливках из кремнистой стали. Вследствие ее пониженной теплопроводности рекомендуют на участках заварки применять теплоотводные прокладки, равномерно подогревать отливки до 300…350 °С и производить заварку электродами специальной марки Э70 с покрытием К-7, с последующим отпуском для снятия сварочных напряжений.

Заварку дефектов в отливках из марганцовой стали осуществляют с обязательным местным подогревом до 200…210 °С электродами Э50А с покрытием УОНИИ-13/65, а также электродами марки Э70 с покрытием К-7. После заварки отливки подвергают отпуску при 600…620 °С.

Заварку дефектов в отливках из хромистой стали проводят при обязательном местном подогреве до 250…300 °С электродами К70 с покрытием К-7 или Э60 с покрытием УОНИИ-13/65, с последующим отпуском при температуре 600…650 °С.

Заварку дефектов в отливках из никелевой стали проводят при обязательном местном подогреве до 300…350 °С электродами Э60 с покрытием УОНИИ-13/65 или проволокой с содержанием до 3 % никеля с покрытием УОНИИ-13/65. Для снятия напряжений заваренные отливки подвергают отжигу при температуре 700 °С.

Заварку дефектов в отливках из молибденовой стали осуществляют как с местным подогревом до 150…200 °С электродами марки Э70 с покрытием ОММ-5 с молибденом, так и без подогрева.

Заварку дефектов в отливках из хромоникелевой стали проводят с предварительным местным подогревом до 250…300 °С электродами Э60 с покрытием УОНИИ-13/65 и Э70 с покрытием К-7 с последующим отпуском.

Заварка дефектов в отливках из хромомолибденовой стали требует местного подогрева до 200…300 °С и применения электродов марки Э70 с покрытием ОММ-5, а также последующей термообработки – полного отжига при температуре 950 °С с охлаждение в печи или нормализации при 900…930 °С с отпуском при 650…680 °С.

Заварку дефектов в отливках из высокохромистых и хромоникелевых сталей проводят при тщательном соблюдении технологического режима: отливки перед заваркой нагревают до 300…350 °С с применением электродов марки ЭА2 с покрытием или электродов марки НЗЛ; для снятия напряжений отливки подвергают отпуску при 700 °С, а иногда и отжигу при температуре 870…880 °С.

Заварку дефектов в отливках из высокомарганцевых сталей типа 100Г13Л осуществляют при тщательном соблюдении технологического режима, а подготовку дефектных мест к заварке – зачисткой абразивными кругами или выплавкой металла ацетиленокислородным пламенем с последующей очисткой зубилом. Во втором случае рекомендуют отливку охлаждать путем накладки водоохлаждаемых плиток или охлаждения в воде.

Заварку проводят обязательно после закалки, так как закалка повышает пластические свойства данной стали. Предварительный подогрев производить не рекомендуют. В качестве электродов применяют электродную малоуглеродистую проволоку из никелемарганцовой стали (0,6…1,0 % C; 4,1…4,5 % Ni и 11,0…13,0 % Mn) или поволоки из аустенитовой хромоникелевой стали (0,07 % C; 18,0 % Cr; 8,0 % Ni и 0,4 % Ti) со специальной обмазкой в строгом соответствии с инструкцией.

5.1.2. Заварка отливок из чугуна

Заварка отливок из чугуна из-за его плохой свариваемости является наиболее трудной в технологическом отношении по сравнению с заваркой отливок из стали и алюминиевых сплавов. Плохая свариваемость чугуна вызвана образованием в шве и околошовной зоне крупных и труднообрабатываемых структур отбела и закалки, повышенной склонностью к образованию трещин и склонностью к порообразованию. Затруднения резко возрастают при так называемых холодных способах сварки. При горячей сварке (предварительный подогрев отливок), а также при низкотемпературных процессах (пайка, пайко-сварка) образование указанных дефектов менее вероятно и обычно полностью исключается. Мероприятия для борьбы с дефектами при сварке необходимы в тем большей степени, чем ниже прочность и пластичность чугуна, в частности, при заварке белого чугуна, а следовательно, и ковкого чугуна до отжига. Наиболее благоприятными являются чугуны с мелкозернистым перлитом и мелким графитом и, в частности, чугуны, легированные Ni, Ti, и Mn.

В связи с этим при заварке чугуна в большей мере, чем при заварке дефектов отливок из других литейных сплавов, необходимо учитывать марку чугуна, конструктивные особенности отливки, эксплутационное назначение поверхностей и отдельных частей отливок. Кроме того, необходимо учитывать стадию механической обработки, на которой выявлен дефект, его размеры и расположение на литой детали.

Стремление более детально учесть названные и другие факторы, определяющие конечное качество чугунной отливки, привело к развитию большого числа различных по своим технологическим возможностям способов сварки чугуна и их разновидностей, которые постоянно совершенствуются.

Характеристики основных способов сварки и исправляемых дефектов приведены в табл. 5.1. Как видно, по свойствам наплавленного металла все способы сварки чугуна подразделяют на две основные группы: предназначенные для получения наплавленного

5.1. Характеристика и область применения различных способов сварки отливок из чугуна

Способ сварки	Характеристики	
	дефекта	наплавленного металла и соединения
1. *Наплавленный металл – чугун с заданными свойствами*		
Газовая сварка		
Горячая с чугунной присадкой	Небольшие и средние дефекты на обрабатываемых, обработанных и ответственных необрабатываемых поверхностях различного эксплутационного назначения	Хорошая обрабатываемость и плотность, близкое совпадение с основным металлом по микроструктуре, твердости, прочностным показателям и оттенку цвета
Низкотемпературная пайка-сварка с чугунным присадочным прутком	Несквозные небольшие дефекты на обработанных рабочих поверхностях	То же
Дуговая сварка ванным способом		
Ручная, чугунными электродами. Полуавтоматическая порошковой проволокой	Крупные и очень крупные дефекты на обрабатываемых обработанных и ответственных необрабатываемых поверхностях	Хорошая обрабатываемость и плотность, близкое совпадение с основным металлом по микроструктуре, твердости, прочностным показателям и оттенку цвета
Полуавтоматическая порошковой проволокой с присадкой керамического стержня	Небольшие и средние дефекты на обрабатываемых поверхностях, не подвергающихся поверхностной закалке	То же

Продолжение табл. 5.1

Способ сварки	Характеристики	
	дефекта	наплавленного металла и соединения
2. *Наплавленный металл* (*не чугун*), *обрабатываемый резанием* **Холодная дуговая сварка наплавкой валиками**		
Ручная, электродами: на медноникелевой основе	Несквозные небольшие и средние дефекты на обрабатываемых и обработанных поверхностях. В отдельных случаях сквозные дефекты небольшой протяженности	Хорошая обрабатываемость, плотность и прочность
на железоникелевой основе	Небольшие и средние дефекты на различных поверхностях отливок	Хорошая обрабатываемость, плотность и прочность, совпадение с основным металлом по цвету
на основе низкоуглеродистой стали со специальным покрытием на медностальной основе	Несквозные небольшие дефекты на обработанных поверхностях. Сквозные дефекты на необрабатываемых поверхностях отливок	Совпадение с основным металлом по твердости и цвету. Высокая прочность и плотность, обрабатываемость затруднена, отличие от основного металла по цвету

Продолжение табл. 5.1

Способ сварки	Характеристики	
	дефекта	наплавленного металла и соединения
Полуавтоматическая тонкими проволоками:		
на основе Ni	Переходные слои при многослойном заплавлении дефектов на обрабатываемых поверхностях. Различные дефекты на тонких стенках деталей	Минимальное проплавление основного металла, хорошая обрабатываемость
на основе Cu	Несплошность металла по жеребейкам, спаям, отверстиям. Переходные слои при многослойной наплавке, сквозные дефекты на тонких стенках деталей	Хорошая плотность и прочность, минимальное проплавление основного металла
Газовая низкотемпературная (без расплавления основного металла) пайка-сварка		
Медно-сплавными присадочными материалами типа латуни методом пайки-сварки	Несквозные небольшие дефекты на обработанных поверхностях	Хорошая плотность, стабильная твердость 170…190 НВ
Самофлюсующимися порошковыми сплавами методом газопорошковой наплавки	Несквозные небольшие и средние дефекты, выявленные на финишных операциях механической обработки отливок. Выборки, вмятины, негерметичность деталей	Хорошая обрабатываемость, плотность и прочность, совпадение с основным металлом по твердости, износостойкости, цвету

Продолжение табл. 5.1

Способ сварки	Характеристики	
	дефекта	наплавленного металла и соединения
Металлизация		
Сплавами на основе Mo, Zn и других металлов	Сыпевидная пористость на рабочих поверхностях, уплотнение мест, создающих течь	Высокая плотность, износостойкость
3. *Наплавленный металл* (*не чугун*), *не обрабатываемый резанием*		
Сварка		
Ручная, стальными электродами или полуавтоматическая, порошкообразной проволокой или проволокой сплошного сечения	Несквозные дефекты на необрабатываемых поверхностях отливок	Высокая твердость, недостаточная плотность и прочность

чугуна с заданными свойствами (I группа) и для получения наплавленного металла за исключением чугуна (II и III группы). В последнем случае к наплавленному металлу могут предъявляться требования обрабатываемости резанием (сплавы с высоким содержанием никеля, меди, высоколегированная сталь и др.).

В специальных случаях применяют контактно-порошковую и электрошлаковую наплавку, наплавку ленточным электродом, пайку цинковым сплавом при 350 °С, пайку с химическим меднением при 200 °С.

Наибольшее применение для исправления дефектов чугунных отливок нашла горячая заварка однородным металлом с общим подогревом отливок до 600…650 °С.

Однако более 20 % дефектов вскрывается при механической обработке, когда подогрев отливки весьма затруднен или невозможен. В этом случае дефекты заваривают преимущественно пайкой-сваркой чугуном и нежелезными сплавами, газопорошковой наплавкой и холодной дуговой сваркой специальными электродами.

Для электродуговой ручной сварки без подогрева широкое применение нашли электроды на основе никеля, меди с легирующими добавками, придающими наплавленному металлу специальные свойства; используются также электроды с высоким содержанием железа, никелевые электроды, медностальные ОЗЧ-2, медно-никелевые МНЧ-2, железоникелевые ЦЧ-3А, ОЗЖН-1 и др.

Из медно-никелевых наилучшие результаты показывают электроды МНЧ-2 со специальным покрытием. Наплавленный металл представляет собой плотный вязкий медно-никелевый сплав, легко поддающийся обработке резанием, и лишь в зоне плавления, где происходит смешение с основным металлом, получается железно-никелевый сплав, содержащий углерод, отличающийся повышенной твердостью.

Для полуавтоматической заварки чугунных отливок открытой дугой применяют порошковую проволоку (ПП-2, ПП-3М и др.), представляющую собой гибкий электрод диаметром 3,2 мм со стальной оболочкой, в которую запрессована порошкообразная

шихта. Эта проволока специальным механизмом подается с заданной скоростью по гибким шлангам к держателю, которым манипулирует сварщик.

Газовая сварка с чугунной присадкой допускает нагрев отливки до 350…550 °С, т.е. более низкий, чем при дуговых процессах. Иногда достаточно местного нагрева пламенем горелки. В зависимости от применяемого горючего газа и способа нагрева используют различные типы горелок.

Качество сварного соединения (структура и твердость наплавки, отсутствие газовых пор и др.) в решающей степени зависит от присадочных прутков. Хорошие результаты сварки обеспечивают прутки, получаемые из легированного чугуна следующего состава, % мас.: 3,3…3,5 C; 3,4…3,7 Si; 0,5…0,7 Mn; 0,1…0,2 Ni; 0,1…0,2 Ti; 0,3…0,35 Sn; не более 0,15 P; 0,04 S; 0,1 Cr.

При заварке дефектов отливок из модифицированного чугуна применяют жидкой флюс на основе буры, борной кислоты и глицерина. Равномерный и прочный слой жидкого шлака способствует удалению неметаллических включений, изолируя ванну от газов пламени. С помощью жидкого флюса качественно исправляют дефекты и получают плотную наплавку даже в тех случаях, когда по обычной технологии сварки трудно избежать раковин в наплавленном металле.

Сварку-пайку латунными припоями ведут при предварительном подогреве зоны дефекта до 650…750 °С. В качестве присадочного материала применяют сплав белого цвета "ломна" (48…50 % Cu; 0,9…1,0 % Sn; 9,5…10,5 % Mn; 3,5…4,5 % Ni; 0,2…0,6 % Al, остальное Zn) с температурой плавления 850 °С и твердостью наплавленного материала 180…200 НВ.

Необходимым условием получения качественной наплавки является применение специальных флюсов типа ФПСН-1. Этот флюс содержит 25 % углекислого лития, 25 % кальцинированной соды, 50 % борной кислоты и предназначен для латуней с низким содержанием алюминия (< 0,25 %). Для латуней, содержащих 0,25…1,0 % Al, в состав флюса входят до 10 % солевой лигатуры.

Для исправления мелких дефектов, вскрываемых на финишных операциях, когда припуск на окончательную обработку составляет доли миллиметра, применяют газовую наплавку никелевыми сплавами НПЧ. В этом случае самофлюсующийся порошок наносят на поверхность дефекта пламенем специальной ацетиленовой горелки при незначительном тепловложении в основной металл без его расплавления и остаточных деформаций изделия.

Наплавленный порошок из частиц размером 40…100 мкм представляет собой сплав, содержащий более 90 % Ni и некоторое количество меди для снижения температуры плавления и повышения пластичности сплава. Цвет сварного соединения близок к цвету основного металла.

5.1.3. Заварка отливок из цветных сплавов

Заварка отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. Заварку мелких и средних отливок выполняют главным образом аргонодуговой сваркой, крупных отливок – газовой ацетилено-кислородной. Дефектные участки большого объема (более 5 $см^2$) заваривают с перерывами в 2–3 приема для остывания предыдущего слоя наплавленного металла до температуры 40…50 °С. При многослойной наплавке каждый предыдущий слой должен быть зачищен металлической щеткой.

Для исключения образования трещин и коробления из-за термических напряжений, возникающих при заварке, отливки перед заваркой подвергают местному или общему подогреву до 300…350 °С. Местный подогрев проводят, как правило, ацетилено-кислородным пламенем, общий – в камерных электропечах с перепадом температур не более ± 10 ° С.

Заварку ведут теми же сплавами, из которых изготовлены отливки, с помощью неплавящегося вольфрамового электрода диаметром 2…6 мм при расходе аргона 5…12 л/мин. Сила тока составляет обычно 25…40 А на 1 мм диаметра электрода.

При заварке в нижнем положении горелку располагают под углом 45…55° с наклоном в сторону, противоположную наплавле-

нию сварки. Присадочный материал попадает в зону сварки непрерывно под углом 10…20° к завариваемой поверхности отливки, чтобы уменьшить возмущение газовой струи. Конкретные технологические режимы и число слоев заварки зависят от размеров дефекта, диаметров применяемых электродов и присадочного прутка и выбираются в каждом конкретном случае.

Коробление алюминиевых и магниевых отливок, вызванное остаточными напряжениями, возникающими после литья, термической обработки или заварки, исправляют рихтовкой (правкой) отливок в специальных приспособлениях вручную или под прессом. Однако рихтовка сложных тонкостенных отливок с большой протяженной поверхностью (в особенности из сплавов с низкой пластичностью) может привести к образованию трещин и поломке. Кроме того, рихтовка не снимает внутренние напряжения в отливке, а лишь перераспределяет их по ее сечению. Поэтому во всех случаях следует избегать этой операции, обеспечивая достаточную жесткость конструкции отливки установкой технологических ребер, стяжек и др.

Заварка отливок из медных сплавов затруднена их высокой теплопроводностью и большой жидкотекучестью, а также способностью сильно окисляться в нагретом и особенно в расплавленном состоянии. Отливки из медных сплавов можно заваривать ручной и автоматической дуговой сваркой, сваркой в среде защитных газов и газовой сваркой.

Заварка латунных отливок осложняется присутствием легкоиспаряющегося цинка, что приводит к пористости металла сварного шва. Чтобы избежать этого, заварку латунных отливок выполняют предельно короткой дугой (3…6 мм).

Присадочные прутки, металлические электроды и электродную проволоку (для механизированной заварки) готовят из сплавов, близких по химическому составу к материалу отливки. Например, для заварки оловянных бронз используют следующие сплавы, % мас.: 1) 3,28 Sn; 8,9 Zn; 0,2 P; 0,31 Ni; 0,2 Fe; 5,89 Pb; Cu – остальное; 2) 7…9 Sn; 0,6…0,8 Al; 0,8 Mn; 0,3 Fe; P до 0,03; Cu – остальное.

Для заварки отливок из фосфористой бронзы применяют прутки из оловянной [7…9 % Sn] и фосфористой [9…11 % Sn и 0,5…1,0 % P] бронз. Для заварки отливок из алюминиевых бронз применяют прутки и электроды того же состава, а также используют бронзу БрК3М1Ц.

При заварке латунных отливок кроме прутков из латуни марок ЛЦ16К4 и ЛЦ40С используют прутки бронз БрО4Ц3 и БрК3М1Ц; заварку свинцовой латуни проводят прутками из бронзы БрО5С25 или БрО8Н1,5Ф0,3.

Диаметр присадочных прутков 5…12 мм, а угольных или графитовых электродов – 10…20 мм.

Все виды газовой заварки дефектов, как правило, ведут с применением защитных флюсов. При дуговой сварке на электродную проволоку наносят специальные защитно-флюсующие покрытия. Массивные отливки перед заливкой подогревают до 300…500 °С. После заварки бронзовые отливки подвергают отжигу при 450…500 °С, а латунные (после проковки сварочного шва) – при 600…700 °С с последующим медленным охлаждением.

Наиболее распространенные составы электродных покрытий, применяемых при заварке отливок из медных сплавов, приведены в табл. 5.2; составы флюсов – в табл. 5.3. Для заварки алюминиевых бронз можно применять флюсы, предназначенные для сварки отливок из алюминиевых сплавов.

Заварку отливок из титановых сплавов используют для устранения спаев (наиболее часто встречающегося дефекта), трещин, наружных и внутренних раковин, рыхлот и засоров.

Дефектные места разделывают специальным инструментом (шарошками) или обработкой резанием с использованием твердосплавного инструмента. После заварки обязательным является рентгеноконтроль. В случае, когда надежный контроль мест заварки невозможен, отливку бракуют.

Основным способом заварки дефектов является аргонодуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом. Аргон должен иметь чистоту не менее 99,7 % и не содержать влаги. В качестве присадочного материала применяют прутки титана и его сплавов. После заварки отливки подвергают отжигу при 600…650 °С.

5.2. Составы покрытий для заварки отливок из медных сплавов, % мас.

Компонент покрытия	Номер состава								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Алюминиевый порошок	–	15	15	15	16,7	–	50	–	–
Мел	50	70	–	35	–	–	–	50	–
Мрамор	–	–	70	35	83,3	83,3	–	–	–
Древесный уголь	50	–	–	15	–	16,7	50	35	–
Графит	–	15	15	–	–	–	–	–	5
Бура плавленая	–	–	–	–	–	–	–	15	–
Ферромарганец	–	–	–	–	–	–	–	–	80
Криолит	–	–	–	–	–	–	–	–	15

Примечание. Все покрытия изготовляют на жидком стекле, добавляя его 55…60 % от массы сухой смеси.

5.3. Составы флюсов для заварки отливок из медных сплавов, % мас.

Компонент флюса	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Бура	50	75	50	56	100	–
Борная кислота	35	25	50	–	–	100
Фосфорно-кислый натрий	15	–	–	–	–	–
Хлористый натрий	–	–	–	22	–	–
Углекислый калий	–	–	–	22	–	–

Заварку дефектов ответственных титановых отливок необходимо выполнять в специальной заварочной камере, наполненной чистым аргоном. Если заварка титанового литья выполнена в строгом соответствии с технологией, то она практически не снижает статической прочности.

Однако на некоторых участках снижение усталостной прочности заварочных зон по сравнению с основным металлом отливки может достигать 25…30 %. В этом случае необходимо применять новые способы исправления дефектов (например, горячее изостатическое прессование (ГИП)).

Заварку отливок из никелевых сплавов проводят аргонодуговой (неплавящимся электродом) и газовой сваркой. Электродные покрытия готовят на основе мрамора, плавикивого шпата с добавками ферросицилия, ферромарганца, ферротитана, применяя в качестве связующего жидкое стекло. Составы флюсов при газовой сварке, % мас.:

1) 30 бура; 50 борная кислота; 10 углекислый барий; 10 хлористый натрий;

2) 25 бура; 75 борная кислота; 3) 50 бура; 50 борная кислота.

5.2. ГОРЯЧЕЕ ИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ

***Горячее изостатическое прессование* (*ГИП*)** – эффективный способ исправления внутренних дефектов ответственных отливок из алюминиевых и титановых сплавов. ГИП обычно проводят в газостатах. Сущность ГИП состоит во всестороннем сжатии отливок специальными жидкостями или газами при определенном сочетании температуры, давления и времени выдержки.

Основной узел газостата – контейнер из высокопрочной стали, снабженный встроенным нагревателем и соединенный с газовой системой высокого давления (100…250 МПа). Для изоляции стенок контейнера от зоны нагрева внутри контейнера размещен теплоизолирующий колпак.

Контейнер установлен в вертикальном положении и имеет с обоих торцов крышки, через которые загружают детали, проводят вакуумирование и напуск аргона в контейнер. Осевое давление на

крышки во время прессования воспринимается рамой, которая сделана подвижной для облегчения загрузки и выгрузки контейнера. Контейнер с загруженными деталями устанавливают внутри рамы, вакуумируют, после чего в него нагнетают аргон до заранее установленного давления. Дальнейшее повышение давления газа осуществляют за счет его нагревания до температуры обработки.

После выдержки деталей при заданном давлении и температуре газ охлаждают, давление в контейнере стравливают и выгружают отливки. В местах, где были внутренние дефекты, на поверхности появляются вмятины. Причем вмятины располагаются на той поверхности детали, к которой ближе расположена раковина. Опыты показывают, что для "залечивания" крупных раковин в толстостенных деталях необходимо температуру инертного газа во время выдержки поддерживать на 15…20 °С ниже температуры полиморфного превращения данного сплава.

Например, для алюминиевых сплавов АК9ч (АЛ4) и АК7ч (АЛ9) температура нагрева составляет 480…500 °С (т.е. близка к температуре закалки); для титановых – 870…920 °С. Время выдержки 2…10 ч. Большая разница в предельных значениях времени выдержки объясняется тем, что залечивание происходит сначала за счет пластической деформации крупных раковин и пор, а затем – за счет ползучести. На заключительной стадии мелкие дефекты залечиваются благодаря действию вакансионного и дислокационного механизмов, для реализации которых требуется значительное время. Выбор оптимального давления основан на значениях предела текучести сплава при температуре ГИП.

Горячее изостатическое прессование устраняет такие дефекты, как рассеянную газовую и микроусадочную пористость, зональные рыхлоты, микротрещины. В зоне "залеченного" дефекта образуется структура, близкая к деформированному металлу, но значительно мельче, чем структура основного металла отливки. Такое сочетание структуры в одной отливке не только положительно влияет на ее механические свойства (табл. 5.4), но и значительно повышает циклическую прочность, коррозийную стойкость, свариваемость, обрабатываемость резанием и другие технологические и эксплутационные характеристики.

5.4. Механические свойства титановых сплавов в отливках, полученные на образцах до и после ГИП

Сплав	$\sigma_в$, МПа	δ	ψ	KCU, МДж/м^2
		%		
ВТ5Л	834 851	19,0 17,4	27,7 34,6	0,59 0,71
ВТ9Л	955 986	8,3 10,4	17,4 20,3	0,31 0,39
ВТ20Л	906 925	9,2 12,2	20,5 26,8	0,52 0,61

Примечание. В числителе – механические свойства до ГИП, в знаменателе – после ГИП.

Газовая пористость отливок из алюминиевых сплавов снижается с 3–4 баллов до 1 балла по шкале ВИАМ. Сквозную пористость и внутренние дефекты, соединяющиеся с поверхностью отливки, ГИП не устраняет.

Оборудование для ГИП производят ряд зарубежных фирм (в частности, шведская фирма ASEA). Диаметр камер установок 500…1600 мм, высота 1000…3200 мм, максимальное давление до 200 МПа, температура до 1250 °С.

5.3. ПРОПИТКА ОТЛИВОК

Пропитка является одним из наиболее распространенных и эффективных способов устранения негерметичности отливок из различных сплавов, работающих под давлением газа или жидкости, а также в вакууме. Необходимость пропитки вызвана тем, что дефекты, являющиеся причиной негерметичности отливок, часто обнаруживаются после длительной и дорогостоящей обработки резанием.

Однако пропитку применяют лишь в тех случаях, когда негерметичность отливок вызвана микро- и макропористостью, проявляющихся обычно при испытаниях на герметичность в слабом выделении воздуха в виде отдельных пузырьков или пузырчатой сыпи. Устранение с помощью пропитки трещин, раковин и других крупных дефектов, снижающих механическую прочность литых изделий, не допускается.

Пропитывание состоит в том, что пропиточный материал вводят в поры отливки, где он затвердевает в результате охлаждения, сополимеризации или испарения растворителя. Применяют следующие методы пропитки: свободную (окунанием), с внутренним давлением, с наружным давлением и "вакуум-давлением".

При свободной пропитке детали последовательно погружают в ванну с обезжиривающим составом при температуре 100 °С, затем в ванну с чистой водой при 100 °С и, наконец, в ванну с пропитывающим составом при 65…75 °С.

Метод "*вакуум-давления*" (комбинированный метод) обеспечивает высокое качество герметизации отливок. Его применяют для герметизации отливок любой конфигурации и размеров, работающих под высоким давлением жидкостей или газов, часто – при повышенных температурах.

При пропитке этим методом детали проходят очистку и обезжиривание в ванне, затем – сушку в камере. Подогретые детали укладывают в корзины и помещают в рабочий автоклав, где они проходят сушку при остаточном давлении 2,5…5,5 кПа и температуре (70 ± 5) °С в течение одного часа. Затем пропиточную смесь из бака питания перекачивают в автоклав.

Детали пропитывают вначале в вакууме при остаточном давлении 2,5…5,5 кПа в течение 10…15 мин, а затем под давлением 300…400 кПа в течение 10…15 мин. После этого пропиточную смесь перекачивают насосом в бак питания, корзину с деталями извлекают из автоклава, а детали передают на удаление натеков пропиточного состава. Сушку деталей проводят в сушильной камере при температуре (120 ± 10) °С.

Пропиточные материалы должны удовлетворять следующим основным требованиям: обладать невысокой вязкостью, хорошо заполнять поры и обеспечивать надежную связь герметика с материалом отливки; обладать при необходимости специальными свойствами, например, теплостойкостью и химической стойкостью при работе в агрессивных средах; иметь минимальную склонность к электрохимической коррозии на границах раздела "материал отливки – герметик – рабочая среда"; быть нетоксичными, пожаро- и взрывобезопасными. Очень важны также такие свойства пропиточного материала, как неспособность отверждаться на поверхности отливки, смываемость водой с добавками ПАВ или растворителем в тех случаях, когда необходимо нанести на деталь гальваническое покрытие или когда по условиям эксплуатации детали на ее поверхности не допускается наличие герметика.

Наиболее часто в качестве пропиточных материалов применяют органические и неорганические композиции: фенольные смолы, стирол с безводными маслами, бакелитовый лак, эмаль БТ-538, полиэфирные смолы, силикат натрия, смесь "металл–импрекс" и др. Для пропитки отливок из различных сплавов широко применяют смесь жидкого стекла с различными добавками. Лучшими свойствами из отечественных марок обладает жидкое стекло сумского ПО "Химпром".

На приготовление 1 т жидкости для пропитывания алюминиевых отливок методом "вакуум-давления" расходуют, кг: 950 натриевого и 25 калиевого жидкого стекла; 17,5 тонкоизмельченного асбеста; 15 смазки АГ-1; 0,73 перманганата калия и 7,3 красной окиси железа. Приготовленную смесь разбавляют водой до ρ = = 1270 кг/м^3 и подогревают до 60…65 °С.

Для пропитки отливок из медных сплавов, работающих в морской воде при температурах до + 220 °С, в среде аммиака и фреона при температурах до –50 °С, используют жидкие композиции на основе кремнийорганических лаков с плотностью 970…1020 кг/м^3. Кремнийорганические лаки и пропиточная жидкость не токсичны. Их применяют для герметизации деталей различными методами, в том числе и методом "вакуум-давление". После пропитывания детали 3…4 ч выдерживают на воздухе, а для ускорения процесса

полимеризации и улучшения физико-механических свойств кремнийорганических материалов их подвергают термообработке по ступенчатому режиму с нагревом до 140 °С и общей выдержкой 15 ч.

Для герметизации отливок из черных и цветных сплавов применяют анаэробные материалы, обеспечивающие работоспособность отливок при температурах –190…150 °С. Преимущества этих материалов: высокая проникающая способность (заполнение микропор), хорошая удаляемость с поверхностей отливок, отверждение в обычных условиях на воздухе (практически без усадки материала) без применения активаторов, простота технологического процесса.

Основное влияние на скорость отверждения анаэробных продуктов оказывают следующие факторы: отсутствие контакта с кислородом; наличие контакта с металлом; температура. При пропитке деталей первое условие выполняется в момент, когда пропиточный состав проникает в микропоры. Для обеспечения контакта с металлом необходимо обезжиривание поверхностей. В отличие от других пропитывающих составов анаэробные герметики быстро отверждаются при комнатной температуре. Высокая чувствительность таких герметиков к теплу делает излишним их нагрев при нанесении на деталь, однако скорость отверждения и время достижения максимальной прочности прямо зависят от температуры отверждения. При 120 °С отверждение происходит за 0,5…1,0 ч, при 20 °С – за 24 ч.

Анаэробными составами можно уплотнять изделия, изготовленные из многих известных материалов, но каждый из них оказывает определенное влияние на скорость отверждения герметика. По этому признаку материалы подразделяют на три группы:

– Cu и ее сплавы, Co, Mg, Ni, Fe; контакт с ними ускоряет полимеризацию герметика, а сами материалы считаются активными;

– Al и его сплавы, углеродистые стали, чугуны, Au, Ag, Ti, Zn, пластмассы; их поверхность неактивна;

– материалы, имеющие покрытия (гальванические, кадмиевые, анодные, оксидные, хромовые, частично цинковые), коррозийно-стойкие стали.

Техническая характеристика анаэробного герметика Анатерм-1 (ТУ 6-01-2-300–72)

Внешний вид …….……	Прозрачная однородная жидкость желтого или коричневого цвета
Плотность, кг/м^3 ……...	$(1{,}17…1{,}19)\cdot10^{-3}$
Вязкость, Па · с …….……	$(10{,}5…17{,}5)\cdot10^{-3}$
Растворимость в ацетоне …….	Полная (раствор должен быть прозрачным, без осадка)
Жизнеспособность при 80 °С, ч …….	Отсутствие гелеобразования после прогревания в течение 6 ч
Время набора полной прочности при 20 °С, ч ……..	24
Усадка при полимеризации, % ……	10
Предел прочности при отрыве на образцах из алюминиевого сплава, МПа	250
Температурный диапазон работоспособности, °С ……	–190…150
Коэффициент температуропроводности, м^2/ч …….	$0{,}3\cdot10^3$
Гарантийный срок хранения, мес ……	12

Последовательность операций при герметизации деталей анаэробными герметиками: обезжиривание и сушка деталей сначала на воздухе в течение 15…30 мин, а затем – в шкафу при 100…110 °С в течение 60 мин; удаление из пор детали воздуха и влаги в вакуумной камере; трехразовое погружение в герметик при температуре 40…45 °С на 15…20 мин с промежуточной выдержкой на воздухе 15…30 мин; отверждение герметика при температуре 15…35 °С в течение 24 ч.

При подогреве деталей процесс отверждения ускоряется. В этом случае детали сначала отверждают при 15…35 °С в течение 3 ч на воздухе, а затем при 80…90 °С в течение 2…2,5 ч и окончательное отверждение осуществляют при 90…120 °С в течение 1…2 ч. Остатки герметика с поверхности деталей удаляют окунанием деталей в растворитель (ацетон) спустя 24 ч после начала отверждения.

Капиллярный эффект позволяет герметизировать отливки также путем нанесения анаэробного материала кистью на дефектные участки с наружной и при возможности с внутренней сторон. В этом случае неотвержденный на поверхности отливки герметик снимают хлопчатобумажной салфеткой. Анаэробные материалы успешно применяют для герметизации отливок, а также для заделки пор перед нанесением на отливки различных гальванических покрытий.

Практика эксплуатации деталей, герметизация которых обеспечивается пропиткой, показывает надежность данного технологического процесса. Однако пропитка отливок, как отмечено выше, – это вынужденная и крайняя мера, направленная на исправление пороков литья с целью сокращения потерь от окончательного брака отливок. Основное же внимание должно быть направлено на решение профилактических задач получения качественных отливок.

Благодаря улучшению технологичности конструкции литой детали, правильному выбору литейного сплава и применению прогрессивных технологий литья можно изготовлять герметичные сложные тонкостенные отливки из стали, чугуна и цветных сплавов.

5.4. ЗАДЕЛКА ДЕФЕКТОВ ЭПОКСИДНЫМИ ЗАМАЗКАМИ И МАСТИКАМИ

Быстроотвердевающие замазки на основе эпоксидных смол (ЭД-5, ЭД-6, ЭД-20 и др.) применяют для исправления различных дефектов, ухудшающих товарный вид отливок. Преимущества эпоксидных замазок: быстрое отверждение, высокие пластичность и склеивающая способность, значительная стойкость против разрушающего действия воды, растворов щелочей, кислот, малая усадка, хорошая обрабатываемость.

Помимо эпоксидных смол в состав замазок входят: отвердитель (полиэтиленоламин), пластификатор (дибутилфталат) и различные наполнители (маршаллит, серебристый графит, алюминиевая пудра, абразивная крошка, железный порошок, цемент и др.).

Для заделки мелких дефектов (ужимин, несквозных раковин и др.) на медных отливках применяют быстротвердеющую замазку следующего состава, мас. части: 100 эпоксидной смолы ЭД-20; 30…35 железного порошка (марки ВС) или портландцемента (марки 300–500); 12…14 полиэтиленоламина; 20 дибутилфталата.

Взвешенную смолу вначале тщательно перемешивают с пластификатором в течение 5 мин, затем добавляют необходимое количество полиэтиленламина и замешивают в течение 7 мин с железным порошком или цементом, добавляя последние небольшими порциями до получения жидкого теста. Живучесть тщательно перемешанной замазки в тестообразном состоянии не более 30 мин после приготовления. Замазку применяют для заделки ужимин, несквозных раковин, мест течи и т.п. При этом дефекты, подлежащие заделке, по глубине не должны превышать 1/3 толщины стенки в исправляемом месте.

Перед нанесением замазки дефектное место отливки высверливают или вырубают. Поверхность дефекта должна быть сухой. В случае загрязнения минеральным маслом дефектное место нужно протереть уайт-спиртом или нитрорастворителем и подогреть до 60…80 °С. Замазку наносят в раковину шпателем.

Скорость отверждения замазки зависит от температуры детали. При температуре 18…20 °С отверждение происходит в течение 4…5 ч, а при подогреве до 80…100 °С в течение 0,5 ч.

Для заделки дефектов на отливках из алюминиевых сплавов применяют замазки следующего состава, % мас.: 100 эпоксидной смолы ЭД-20; 12…14 полиэтиленоламина; 10…15 дибутилфталата; 8…10 алюминиевой пудры.

После затвердевания замазки исправленное место зашлифовывают абразивными кругами или шкуркой, обдувают и закрашивают грунтовкой. Замазка на основе эпоксидной смолы прочно сцепляется с основным металлом, не отслаивается при ударах, не теряет свойств при температуре до 150 °С.

5.5. ДЕКОРАТИВНОЕ ИСПРАВЛЕНИЕ ОТЛИВОК

Декоративное исправление мастиками применяют для неответственного литья с целью улучшения внешнего вида. Перед нанесением мастик поверхность отливки очищают до появления чистого металла. Мастику наносят на отливку лопаткой и уплотняют от руки. Продолжительность выдержки нанесенной мастики до полного ее затвердевания колеблется в пределах от 10 ч до нескольких суток. Наиболее часто применяют мастики следующего состава, % мас.:

1) 5 кремнекислоты; 16 окиси магния; 1,5 глинозема; 14,6 асфальта; 24 окиси кальция; 17,5 битума; 2,2 окиси железа; 19,2 углекислоты;

2) 4,2 парафина; 50 чугунной стружки (молотой); 16,6 графита; 12,5 канифоли; 16,7 кузбасского лака;

3) 14,5 графита; 49,5 чугунной стружки (молотой); 36 серы;

4) 3 нашатыря; 95 чугунной стружки (молотой); 2 серы.

Контрольные вопросы

1. Основные способы исправления дефектов.
2. Какие дефекты можно устранить заваркой?
3. Основные операции при заварке дефектов.
4. Особенности заварки отливок из стали различных марок. Какие виды сварки при этом применяют?
5. Особенности заварки отливок из чугуна.
6. Характеристика способов сварки и исправления дефектов на чугунных отливках.
7. Особенности заварки дефектов отливок из цветных сплавов.
8. Горячее изостатическое прессование.
9. С какой целью применяют пропитку отливок и в каких случаях ее не рекомендуют?
10. Технологические особенности пропитки, используемые материалы.
11. Требования к пропиточным материалам.
12. В каких случаях применяют замазки и мастики? Материалы и основные операции.

Приложение 1

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ И ПРОЦЕССОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Термины и определения в области технологической оснастки регламентируются ГОСТ 17819–84, в области процессов литейного производства – ГОСТ 18169–86. В табл. П.1 и П.2 приведены основные термины и определения, устанавливаемые соответствующими стандартами.

Термины, приведенные в этих стандартах, являются обязательными для применения во всех видах документации и литературы, а также в учебном процессе. Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин. Установленные определения можно (при необходимости) изменять по форме изложения, не допуская нарушения объема и содержания понятий, определенных в данных стандартах.

П.1. Основные термины и определения технологической оснастки

Термин	Определение
1. Технологическая оснастка литейного производства	Средства технологического оснащения, дополняющие литейное технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса получения отливки
Литейные формы	
2. Литейная форма	Система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой жидким металлом формируется отливка

Продолжение табл. П.1

Термин	Определение
3. Литейный стержень. Стержень	Элемент литейной формы, предназначенный для образования отверстия, полости или иного сложного контура в отливке. Стержень может быть неразъемным и разъемным, цельным и полым, полым с засыпкой из пористого материала, упрочненным металлическим стержневым каркасом, неразборным или собранным в стержневой блок
4. Стержневая литейная форма	Литейная форма, изготовляемая или используемая с применением литейных стержней
5. Открытая литейная форма	Литейная форма незамкнутого контура для заливки расплавленного металла открытой струей
6. Закрытая литейная форма	Литейная форма замкнутого контура, заливаемая расплавленным металлом через закрытую канальную литниковую систему
7. Целиковая литейная форма	Неметаллическая неразъемная литейная форма, изготовляемая по выплавляемым, выжигаемым, газифицируемым, растворяемым моделям
8. Опочная литейная форма	Литейная форма, изготовляемая из формовочной смеси в опоках по модельным плитам или по литейной модели
9. Безопочная литейная форма	Литейная форма, изготовляемая в съемных опоках формовкой по модельным плитам

Продолжение табл. П.1

Термин	Определение
10. Стопочная литейная форма	Литейная форма, изготовляемая по модельной плите и собираемая в стопку с горизонтальным разъемом для заливки от одного литникового стояка
11. Оболочковая литейная форма	Тонкостенная сборная литейная форма, изготовляемая по нагреваемой модельной оснастке машинной формовкой из термореактивных песчаных смесей
12. Почвенная литейная форма	Литейная форма для производства единичных отливок, изготовляемая из формовочных смесей непосредственно в полу литейного цеха
13. Ямная литейная форма	Литейная форма для единичного производства крупных отливок, изготовляемая в изолированных от почвенных вод ямах или в кессонах формовкой по литейным моделям, или по литейным формовочным шаблонам
14. Кокиль	Металлическая форма с естественным или принудительным охлаждением, заполняемая расплавленным металлом под действием гравитационных сил
15. Облицованный кокиль	Кокиль с рабочей полостью, облицованной формовочной смесью в целях замедления и выравнивания кристаллизации отливок

Продолжение табл. П.1

Термин	Определение
16. Пресс-форма для литья под давлением	Металлическая литейная форма для производства отливок на машинах литья под давлением
17. Пресс-форма для выплавляемых моделей	Форма для производства разовых литейных моделей из модельного пластичного материала
18. Центробежная изложница	Металлическая литейная форма, в которой заливка расплавленного металла и формирование отливки осуществляются под действием центробежных сил
19. Литейная форма-кристаллизатор	Водоохлаждаемая машинная литейная форма для непрерывного литья изделий или заготовок
20. Разовая литейная форма	Литейная форма для заливки жидким металлом один раз и разрушаемая при извлечении отливки
21. Многократная литейная форма	Литейная форма для заливки жидким металлом более одного раза
22. Лад литейной формы. Лад	База при формовке и сборке литейной формы, определяющая ее технологическую герметизацию при заливке металлом и размерную точность отливки по вертикали от линии разъема

Продолжение табл. П.1

Термин	Определение
Литейные модели	
23. Литейная модель	Модель для образования в литейной форме отпечатка, соответствующего конфигурации и размерам отливки
24. Разовая литейная модель	Литейная модель с литниковой системой, изготовляемая из легкоплавкого, выжигаемого, газифицируемого или растворяемого материала при производстве целиковых литейных форм
25. Многократная литейная модель	Литейная модель, неоднократно используемая для формовки
26. Разъемная литейная модель	Литейная модель, имеющая разъем, соответствующий разъему литейной формы
27. Стержневой ящик	Формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней литейного стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси
28. Отъемная часть литейной модели (стержневого ящика)	Часть литейной модели (стержневого ящика), которая остается на форме (стержне) после удаления модели из формы (стержня из стержневого ящика), а затем удаляется
29. Стержневой знак литейной модели (стержневого ящика)	Дополнительная, по отношению к конфигурации отливки, часть литейной модели (стержневого ящика) для образования в литейной форме (на стержне) базы для постановки стержней

Продолжение табл. П.1

Термин	Определение
30. Модельная плита	Плита, оформляющая разъем литейной формы и несущая на себе закрепленные части модели, включая литниковую систему, и служащая для набивки опочных и безопочных полуформ. Модельная плита может быть координатной с отверстиями или рамными проемами для съемных моделей и модельных вкладышей
31. Драйер	Комплектующая разъемный стержневой ящик в нескольких экземплярах фасонная сушильная плита, конструктивно аналогичная его съемной части
32. Формовочный литейный шаблон	Перемещаемое линейно по направляющим или вращаемое на шпинделе профилирующее приспособление для образования рабочей полости литейной формы в соответствии с контуром изготовляемой отливки
33. Стержневой литейный шаблон	Дополняющее стержневой ящик или самостоятельное профилирующее приспособление для образования стержня из стержневой смеси или массы на металлическом каркасе или кирпичной кладке
34. Модельный комплект	Комплект формообразующих изделий, необходимый для образования при формовке рабочей полости литейной формы, включая литейную модель, стержневые ящики, модель литниковой системы, формовочные контрольные и сборочные шаблоны

Продолжение табл. П.1

Термин	Определение
35. Модельно-стержневой комплект	Комплект стержневых ящиков, необходимых для изготовления определенного числа комплектов стержней для производства отливок
Формовочные приспособления	
36. Опока	Приспособление для удержания формовочной смеси при изготовлении литейной формы, транспортировании ее и при заливке жидким металлом
37. Литейный жакет	Приспособление, надеваемое на безопочные литейные формы при подготовке их к заливке, или засыпаемое смесью, для оболочковых форм и литейных форм, изготовляемых по выплавляемым моделям
38. Наполнительная рамка	Приспособление, устанавливаемое на опоку или по разъему стержневого ящика для засыпки дополнительного количества смеси до ее уплотнения
39. Подопочная плита	Приспособление, применяемое для установки и транспортирования литейных форм под заливку и на выбивку
40. Кокиль-холодильник	Металлическая вставка для ускоренного охлаждения и кристаллизации металла, залитого в литейную форму, в которую она проставляется при формовке

Продолжение табл. П.1

Термин	Определение
41. Жеребейка	Приспособление, применяемое при установке и закреплении в определенном положении стержня в литейной форме, с целью обеспечения нужной толщины тела отливки
42. Сушильная плита	Приспособление, предназначенное для сушки и транспортирования стержней
Плавильная печная и заливочная оснастка литейного производства	
43. Шлаковня	Металлическая емкость для слива и транспортировки металлургического шлака при плавке металла
44. Литейный ковш	Стальная емкость, футерованная изнутри огнеупорным кирпичом или огнеупорной массой, для транспортирования и раздачи жидкого металла или для заливки литейных форм
45. Заливочный литейный ковш	Литейный ковш для заливки литейных форм жидким металлом
46. Заливочный желоб	Стальной футерованный огнеупорным материалом желоб для наполнения жидким металлом литейных ковшей или заливки крупных литейных форм
47. Заливочная ложка	Стальная огнеупорная или футерованная огнеупором емкость с ручкой для отбора проб металла или заливки мелких литейных форм
48. Металлопровод	Огнеупорный или футерованный изнутри огнеупорным материалом трубопровод для заливки литейных форм жидким металлом

П.2. Основные термины и определения в области технологических процессов по ГОСТ 18169–86

Термин	Определение
Изготовление литейных форм	
1. Формовочный материал	Природные и искусственные материалы, используемые для изготовления неметаллических литейных форм, формовочных красок, разделительных составов и припылов
2. Формовочная (стержневая) смесь	Смесь формовочных материалов, соответствующая требованиям технологического процесса литья и изготовления литейной формы (литейных стержней)
3. Облицовочная смесь	Формовочная или стержневая смесь для образования рабочего слоя литейной формы или литейного стержня
4. Наполнительная смесь	Формовочная или стержневая смесь для заполнения опоки или стержневого ящика вне рабочего слоя литейной формы или литейного стержня
5. Единая смесь	Формовочная или стержневая смесь, используемая одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смеси

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
6. Отработанная смесь	Формовочная и стержневая смесь, использованная в технологическом процессе получения отливок
7. Оборотная смесь	Отработанная смесь, приготовленная для повторного употребления в качестве компонента формовочной смеси
8. Подготовка формовочного материала	Предварительная обработка свежего формовочного материала и отработанной смеси с целью придания им необходимых свойств
9. Регенерация отработанной смеси	Восстановление в отработанной смеси формовочных песков
10. Смесеприготовление	Приготовление формовочной или стержневой смесей и вспомогательных составов из предварительно подготовленных компонентов
11. Формовка	Формование литейных форм и литейных стержней из формовочных и стержневых смесей
12. Формовка по модели	Формовка, при которой рабочая полость литейной формы образуется по многократной или разовой литейной модели
13. Формовка по выплавляемой (выжигаемой) модели (ндп: формовка по восковой модели, окраска модели, обмазка модели)	Формовка по модели, при которой образование литейной формы осуществляется погружением выплавляемой (выжигаемой) литейной модели в жидкую формовочную смесь с обсыпкой огнеупорным материалом и отверждением

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
14. Наливная (засыпная) формовка	Формовка по модели, при которой используют жидкие (сыпучие) формовочные и стержневые смеси
15. Формовка по шаблону	Формовка, при которой рабочая полость литейной формы образуется снятием избыточной формовочной смеси по поверхности, определяемой рабочей частью формовочного литейного шаблона
16. Опочная (безопочная) формовка	Формовка в двух и более опоках (в формовочной камере машины безопочной формовки)
17. Формовка в почве (в формовочной яме)	Формовка на формовочном плацу (формовочной яме) по литейным моделям и формовочным литейным шаблона. Верхняя часть литейной формы может изготовлять в опоках
18. Стержневая формовка	Формовка, при которой литейная форма собирается из литейных стержней, образующих как внешнее, так и внутренне очертание отливки
19. Формовка по-сырому	Формовка, при которой сушке могут подвергаться только литейные стержни

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
20. Формовка по-сухому	Формовка, при которой все части литейной формы подвергаются сушке
21. Формовка с подсушкой	Формовка, при которой значительная часть литейной формы подвергается сушке
22. Формовка по CO_2-процессу	Формовка, при которой упрочнение литейной формы осуществляется продувкой углекислым газом
23. Формовка вакуумно-пленочная	Формовка из сыпучего огнеупорного материала по литейным моделям под пластичной пленкой, применяемой с целью герметизации и уплотнения литейной формы при отсасывании из нее воздуха
24. Формовка по газифицируемой модели	–
25. Ферромагнитная формовка	Формовка, при которой ферромагнитная сыпучая формовочная смесь приобретает и сохраняет контуры литейной модели при помощи наложения магнитного поля
26. Сборка формы	Установление, соединение и закрепление стержней в литейной форме и частей литейной формы между собой

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
Литниковые системы и их элементы	
27. Литниковая система	Система каналов и устройств для подвода в определенном режиме жидкого металла к полости литейной формы, отделения неметаллических включений и обеспечения питания отливки при затвердевании. По устройству литниковые системы размещают по разъему литейной формы и вне разъема
28. Горизонтальная литниковая система	Литниковая система с питателями, расположенными в горизонтальной плоскости разъема литейной формы
29. Вертикальная литниковая система	Литниковая система с питателями, расположенными в вертикальной плоскости разъема литейной формы по положению при заливке. К вертикальным относятся вертикально-щелевые и ярусные литниковые системы
30. Верхняя литниковая система	Литниковая система подачи жидкого металла в полость литейной формы сверху. К верхним относятся дождевые и горизонтально-щелевые литниковые системы

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
31. Сифонная литниковая система	Литниковая система для подачи жидкого металл в полость литейной формы снизу
32. Литниковая чаша (воронка)	Элемент литниковой системы для приема струи жидкого металла и направления его движения в литниковый стояк или непосредственно в литейную форму
33. Литниковый стояк. Стояк	Элемент литниковой системы в виде нисходящего от литниковой чаши канала
34. Шлакоуловитель	Элемент литниковой системы для задержания шлака и неметаллических включений из потока заливаемого металла
35. Литниковый ход	Элемент литниковой системы для подачи жидкого металла из литникового стояка к питателям, применяемый при отсутствии в ней шлакоуловителей
36. Питатель	Элемент литниковой системы, примыкающий непосредственно к рабочей полости литейной формы
37. Литниковый дросель. Дроссель	Элемент литниковой системы, замедляющий заполнение литейной формы жидким металлом

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
38. Выпор	Элемент литниковой системы или полости литейной формы для вывода газов, наблюдения за заполнением литейной формы и для питания при усадке затвердевающей отливки жидким металлом
39. Прибыль	Элемент литниковой системы или полость литейной формы для питания отливки жидким металлом в период затвердевания и усадки. Существуют прибыли прямого, бокового и местного питания отливки
40. Открытая прибыль	Прибыль, поверхность металла в которой непосредственно контактирует с атмосферой. Существуют открытые прибыли без пережима – отрезные; и с пережимом – отламывающиеся
41. Закрытая прибыль	Прибыль, поверхность металла в которой не имеет непосредственного контакта с атмосферой. Существуют закрытые прибыли с экзотермическим обогревом, газового давления и др.
Заливка литейных форм	
42. Литейная форма. Форма. Ндп: приспособление	По ГОСТ 17819–84

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
43. Заливка литейной формы. Заливка	Заполнение литейной формы жидким металлом при помощи литейного ковша или литейной машины
44. Стопочная заливка	Заливка стопочных литейных форм через общий стояк
45. Кессонная заливка	Заливка высокой литейной формы, помещаемой для этого в литейный кессон
46. Горизонтальная заливка	Заливка литейной формы, при которой ее разъем находится в горизонтальной плоскости
47. Вертикальная заливка	Заливка литейной формы, при которой ее разъем находится в вертикальной плоскости
Способы литья металла	
48. Литье в песчаную форму. Ндп: литье в земляную форму	Литье металла, осуществляемое заливкой литейной формы, изготовленной из песчаной формовочной смеси
49. Литье в оболочковую литейную форму. Ндп: литье в скорлупчатую форму. Литье в корковую форму	Литье металла, осуществляемое свободной заливкой оболочковой литейной формы

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
50. Литье по выплавляемой (выжигаемой) модели	Литье металла, осуществляемое заливкой целиковой литейной формы, изготовленной по выплавляемой (выжигаемой) модели
51. Литье по газифицируемой литейной модели	Литье металла, осуществляемое заливкой целиковой литейной формы, изготовленной по газифицируемой модели
52. Литье в магнитную литейную форму	Литье металла, осуществляемое свободной заливкой литейной формы, изготовленной из ферромагнитного сыпучего материала и находящейся при заливке под давлением постоянного магнитного поля
53. Литье в вакуумно-пленочную литейную форму	Литье металла, осуществляемое свободной заливкой литейной формы, изготовленной из сыпучего формовочного материала с разрежением в ней воздуха и герметизацией поверхности разъема синтетической пленкой
54. Литье в керамическую литейную форму	Литье металла, осуществляемое заливкой разъемной литейной формы, изготовленной из огнеупорной жидкой смеси
55. Литье под давлением	Машинное литье металла в пресс-форму под давлением

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
56. Центробежное литье	Литье металла, осуществляемое при заливке в центробежную изложницу
57. Кокильное литье	Литье металла, осуществляемое свободной заливкой кокилей
58. Литье намораживанием	Кокильное литье, осуществляемое с выливанием жидкого металла по мере образования затвердевшего слоя отливки
59. Литье под низким давлением	Литье металла, осуществляемое в кокиль на заливочной установке низкого газового давления
60. Литье с противодавлением	Литье металла, осуществляемое в кокиль на заливочных установках с регулируемым давлением над металлической ванной и в литейной форме
61. Литье вакуумным всасыванием	Литье металла, осуществляемое в кокиль на заливочной установке с вакуумным всасыванием жидкого металла
62. Вакуумно-компрессионное литье	Литье металла, осуществляемое в кокиль с вакуумным всасыванием жидкого металла при заливке и повышенным газовым давлением при затвердевании отливки

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
63. Непрерывное литье	Литье металла, осуществляемое непрерывной заливкой литейных форм-кристаллизаторов на вертикальных и горизонтальных установках непрерывного литья
64. Литье выжиманием	Машинное литье металла, осуществляемое заливкой разъемных литейных форм с переменным объемом рабочей полости
65. Кокильное электрошлаковое литье	Кокильное литье, осуществляемое с электрошлаковым переплавом металла
66. Литье с кристаллизацией под давлением	Литье металла, осуществляемое в пресс-формы для литья под давлением с последующим механическим прессованием затвердевающих отливок
67. Литье космическое	Литье металла, осуществляемое в космических аппаратах
Выбивка и обработка отливок	
68. Выбивка отливок	Удаление затвердевших и охлажденных до определенной температуры отливок из разовых литейных форм

Продолжение табл. П.2

Термин	Определение
69. Удаление стержней	Разрушение и (или) извлечение литейных стержней из затвердевшей отливки
70. Обрубка отливок	Отделение от отливок элементов литниковой системы, заливов по разъему литейной формы и неровностей поверхности
71. Очистка отливок	Очистка поверхности отливок от пригара, остатков формовочной смеси и литейных стержней
72. Зачистка отливок	Механическая обработка поверхности отливок с целью приведения ее в соответствие с требованиями по качеству поверхности

Приложение 2

ВНЕШНИЙ ВИД ОТЛИВОК С ДЕФЕКТАМИ

Дефекты несоответствия по геометрии

Рис. 1. Недолив в стальной отливке

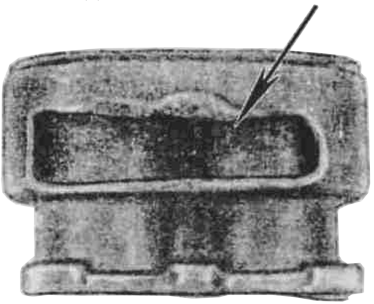


Рис. 2. Недолив в чугунной отливке

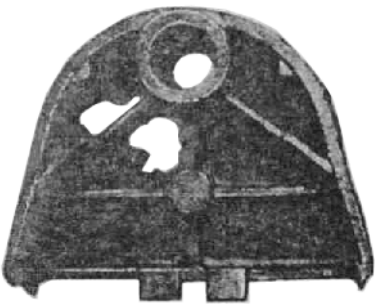


Рис. 3. Неслитина

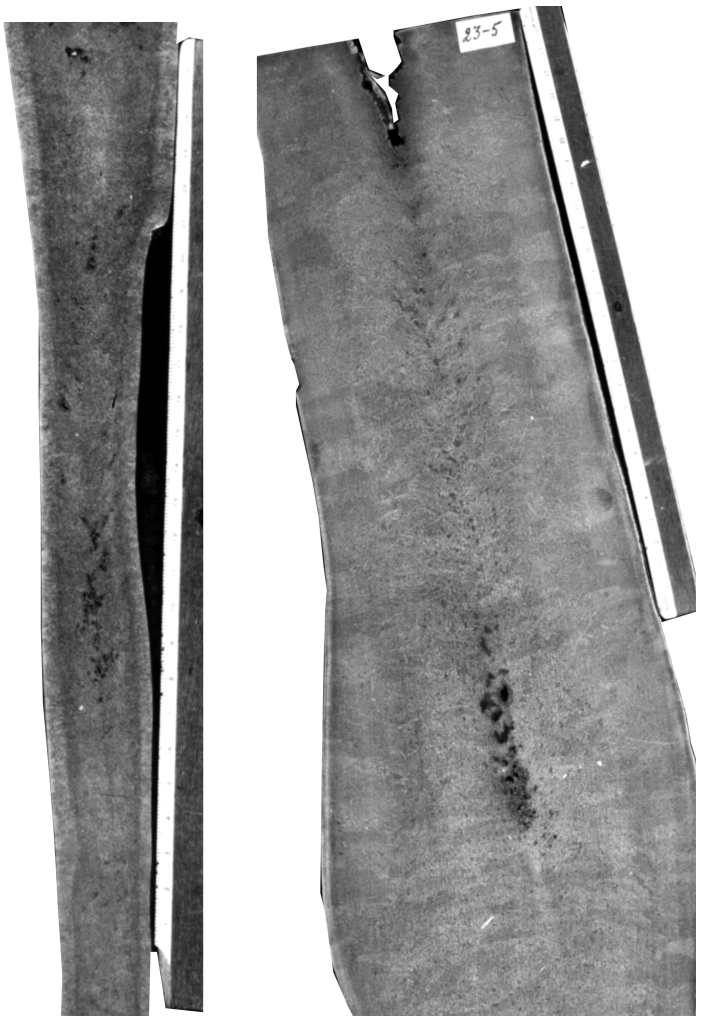


Рис. 4. Подутость

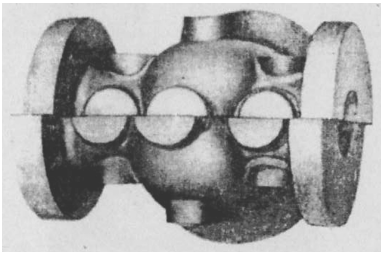


Рис. 5. Перекос

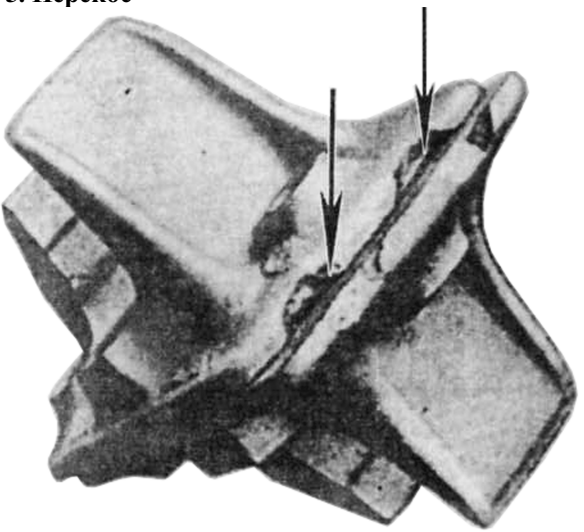


Рис. 6. Вылом

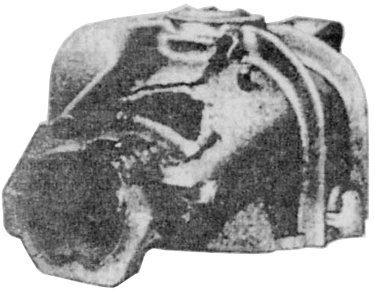


Рис. 7. Уход металла

Несплошности в теле отливки

Рис. 8. Горячая трещина в тонкостенной стальной отливке

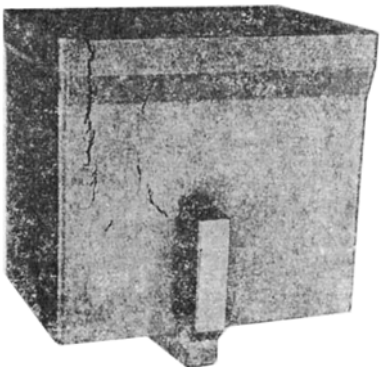


Рис. 9. Горячие трещины в толстостенной стальной отливке

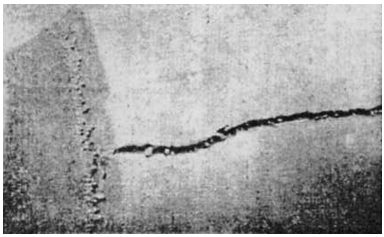


Рис. 10. Продольная горячая трещина в чугунном валке

Рис. 11. Холодная трещина в стальной отливке

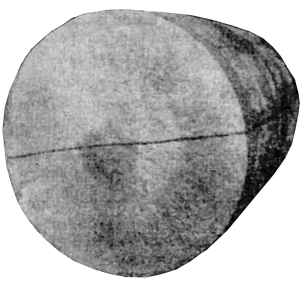


Рис. 12. Холодная трещина в чугунном валке

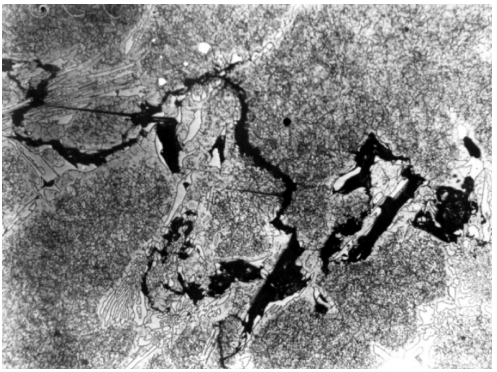


Рис. 13. Межзеренная трещина

Рис. 14. Открытая газовая раковина в стальной отливке

Рис. 15. Газовые раковины и газовая пористость в стальной отливке

Рис. 16. Газовые раковины в чугунной отливке

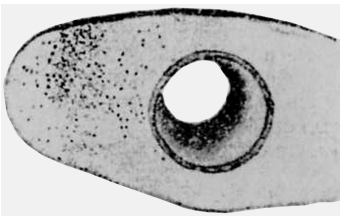


Рис. 17. Газовая пористость

Рис. 18. Ситовидные раковины в стальной отливке

Рис. 19. Усадочная раковина в прибыли стальной отливки

Рис. 20. Усадочная раковина, переходящая в усадочную пористость и рыхлоту

Рис. 21. Макроструктура толстостенной стальной отливки с центральной пористостью

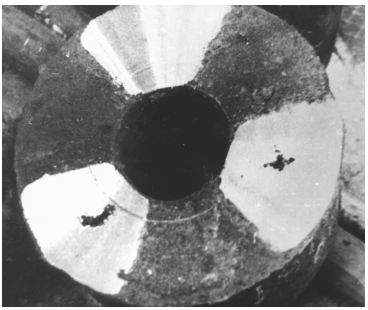


Рис. 22. Стальной валок с усадочными раковинами после отрезки прибылей

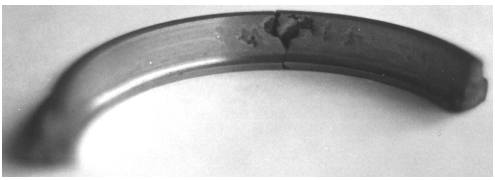


Рис. 23. Усадочная раковина на отливке из белого чугуна

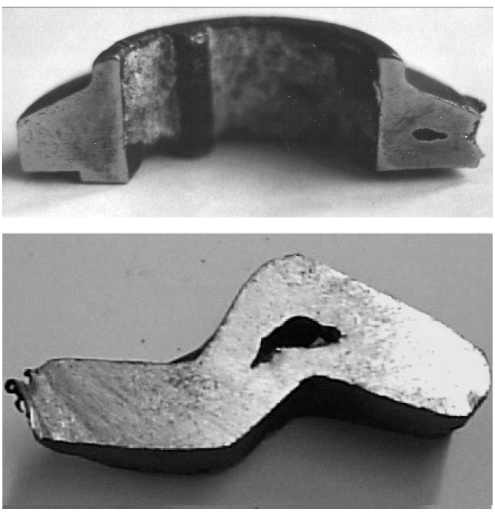


Рис. 24. Закрытые усадочные раковины

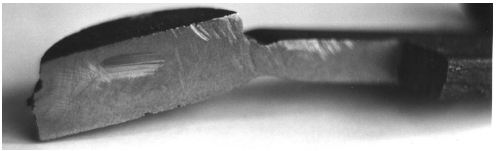


Рис. 25. Утяжина в месте перехода от толстой стенки к тонкой на чугунной отливке

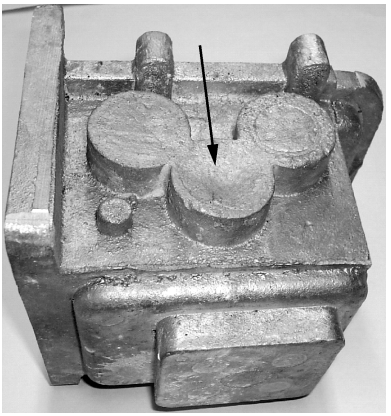


Рис. 26. Утяжина на приливе массивной отливки из алюминиевого сплава

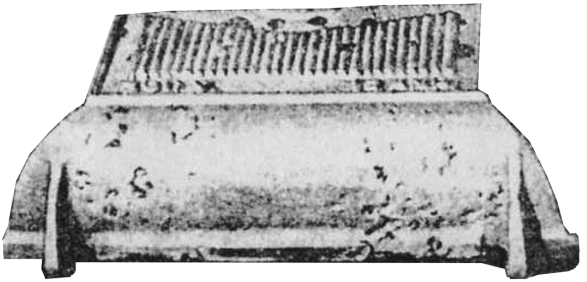


Рис. 27. Песчаные раковины

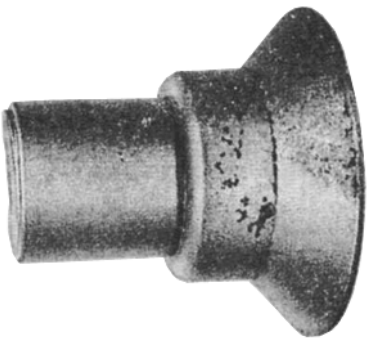


Рис. 28. Шлаковые раковины

Рис. 29. Графитовая пористость

Дефекты поверхности

Рис. 30. Механический пригар на стальной отливке

Рис. 31. Легкоотделяемый пригар на чугунной отливке

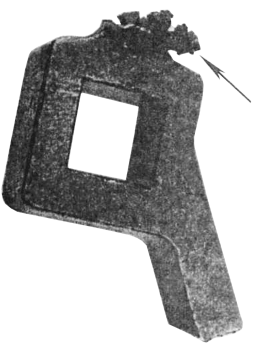


Рис. 32. Нарост

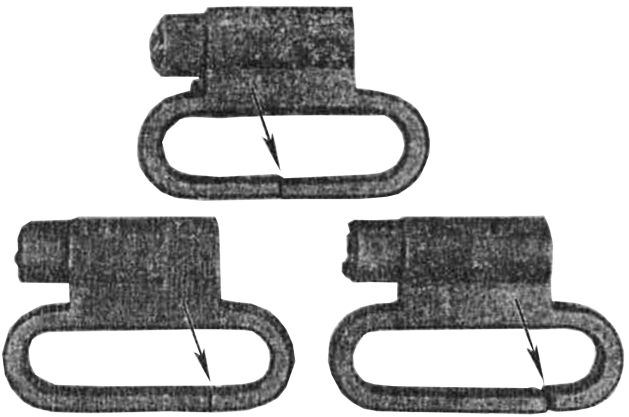


Рис. 33. Спай на стальной отливке

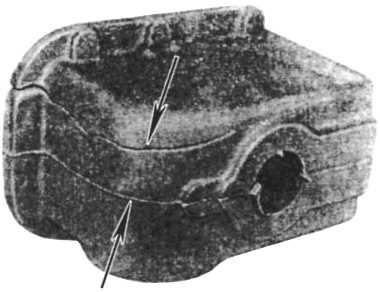


Рис. 34. Спай на чугунной отливке

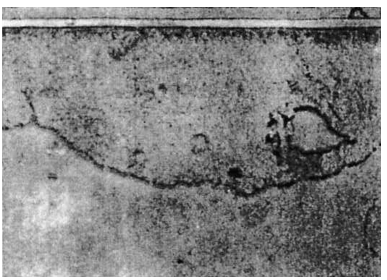


Рис. 35. Плена

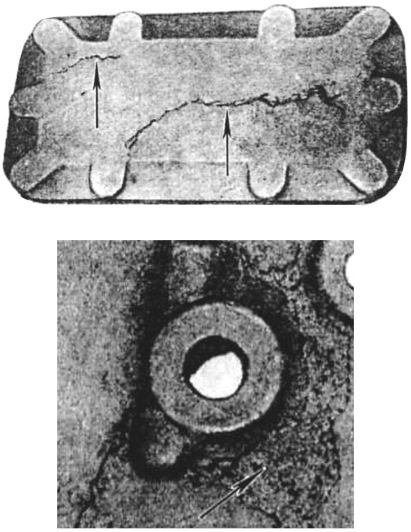


Рис. 36. Ужимины на поверхности отливок из серого чугуна

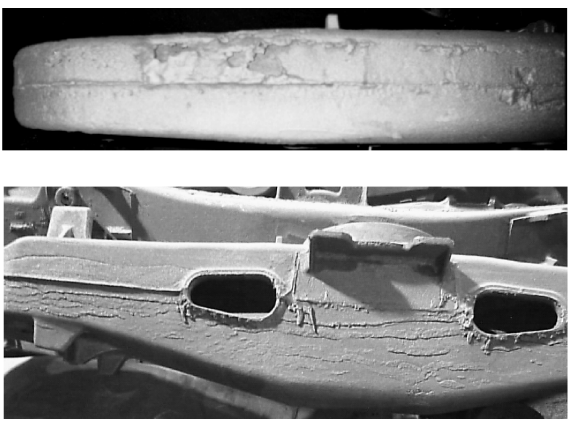


Рис. 37. Ужимины на стальной отливке

Рис. 38. Засоры от формовочной смеси в отливке из серого чугуна

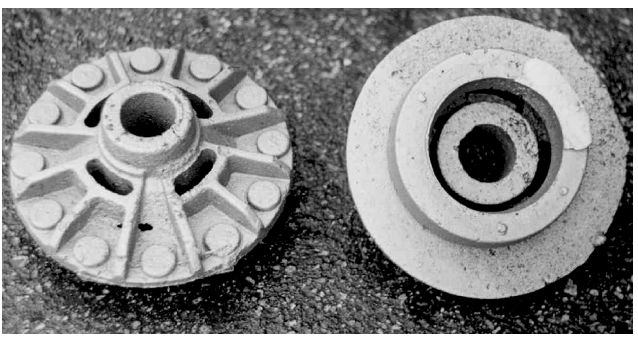


Рис. 39. Засоры в отливке из высокопрочного чугуна

Рис. 40. Газовая шероховатость на стальной массивной отливке

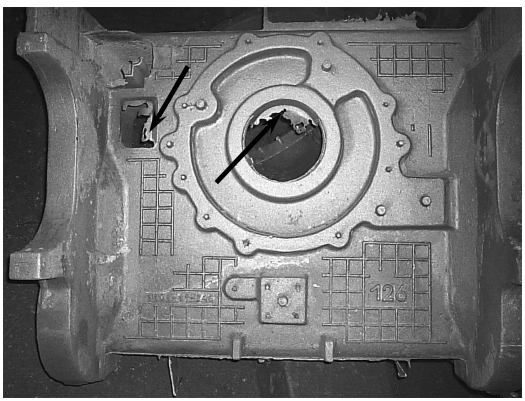


Рис. 41. Залив

Включения

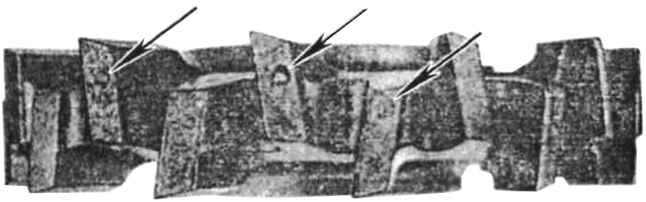
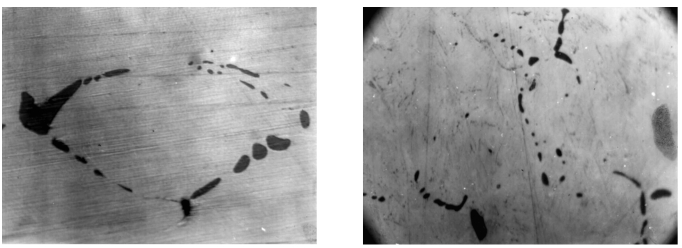
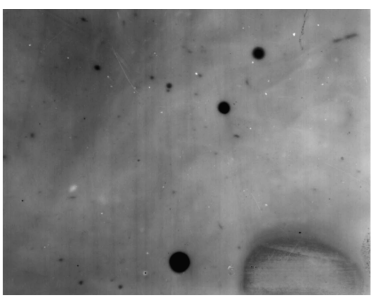


Рис. 42. Королек



а) *б)*



в)

Рис. 43. Неметаллические включения в стальной отливке:
а – оксисульфидные включения в виде грубых пленок;
б – оксисульфидные включения в виде прерывистой пленки;
в – оксисульфидные включения в виде глобулей

Дефекты несоответствия по структуре

Рис. 44. Половинчатость

Рис. 45. Серный отпечаток стального слитка с осевой и внеосевой ликвацией

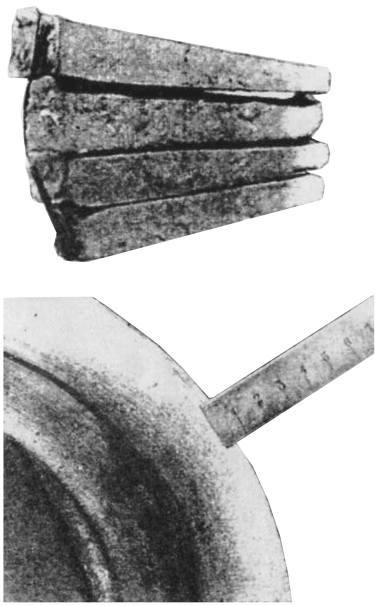


Рис. 46. Отбел

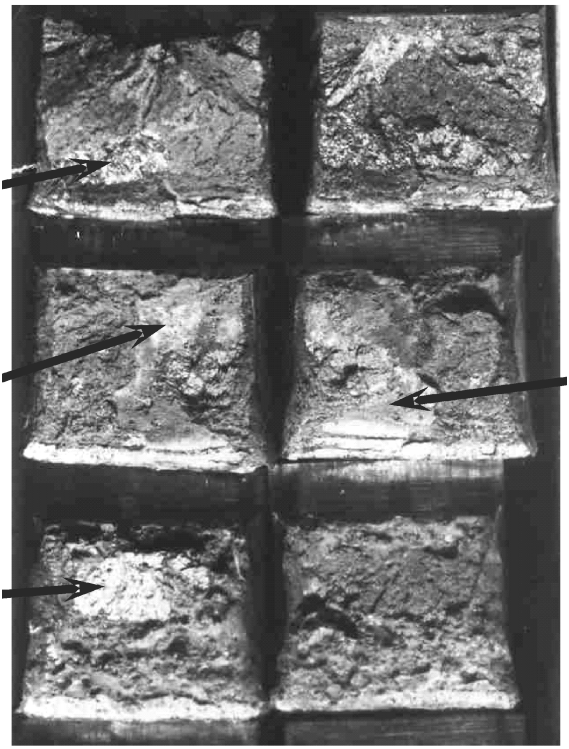


Рис. 47. Флокены в изломе образца из легированной стали

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воздвиженский В.М., Жуков А.А., Бастраков В.К.** Контроль качества отливок. М.: Машиностроение, 1990. 240 с.

2. **Галдин Н.М., Чернега Д.Ф., Иванчук Д.Ф. и др.** Цветное литье: справ. М.: Машиностроение, 1991. 436 с.

3. **Галдин Н.М.** Отливки в точном машиностроении. М.: Машиностроение, 1983. 176 с.

4. **Голубев Ю.Н.** Обеспечение качества отливок. Л.: Машиностроение, 1981. 238 с.

5. **Гаранин В.Ф., Иванов В.Н., Казеннов С.А. и др.** Литье по выплавляемым моделям. М.: Машиностроение, 1994. 448 с.

6. **Дожкарж И., Габриэль Я., Гоушть М., Павелка М. И др.** Производство точных отливок. М.: Машиностроение, 1979. 296 с.

7. **Ефимов В.А., Анисович Г.А., Бабич В.Н. и др.** Специальные способы литья: справ. Л.: Машиностроение, 1981. 238 с.

8. **Иванов В.Н., Зарецкая Г.М.** Литье в керамические формы по постоянным моделям. М.: Машиностроение, 1975. 136 с.

9. **Кривошеев А.Е.** Литые валки. М.: Металлугриздат, 1957. 360 с.

10. **Кузелев М.Я., Скворцов А.А., Смеляков Н.Н. и др.** Справочник рабочего литейщика. М.: Машгиз, 1961. 583 с.

11. **Лакедемонский А.В., Кваша Ф.С., Медведев Я.И. и др.** Литейные дефекты и способы их устранения. М.: Машиностроение, 1972. 152 с.

12. **Литье** по газифицируемым моделям / под ред. Ю.А. Степанова. М.: Машиностроение, 1976. 224 с.

13. **Макарин В.С.** Средства неразрушающего контроля. М.: Высш. шк., 1988. 72 с.

14. **Минаев А.А., Ноткин Е.Б., Сазонов В.А. и др.** Вакуумная формовка. М.: Машиностроение, 1984. 216 с.

15. **Справочник** по чугунному литью / под ред. Н.Г. Гиршовича. Л.: Машиностроение, 1978. 758 с.

16. **Тимофеев Г.И.** Специальные виды литья: учеб. пособ. Горький: Горьковский политех. Ин-т, 1972. 190 с.

17. **Тодоров Р.П., Пешев П.Ц.** Дефекты в отливках из черных сплавов. М.: Машиностроение, 1984. 184 с.

18. **Хенкин В.И., Черепов А.А., Шатов А.Я. и др.** Современные методы и организация технического контроля при производстве отливок. М.: ВНИИТЭРМ, 1987. 72 с.

Учебная литература

Чернышов Евгений Александрович
Евстигнеев Алексей Иванович
Евлампиев Анатолий Александрович

ЛИТЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ. ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ. СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Редактор *Р.Ю. Белавенцев*
Художественный редактор *Т.Н. Галицина*
Технический редактор *Г.Ю. Корабельникова*
Корректор *М.Я. Барская*

Сдано в набор 01.11.2007. Подписано в печать 11.01.2008 г.
Формат 60×88 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать офсетная. Усл. печ. л 17,64. Уч.-изд. л. 16,8.
Тираж 2000 экз. Заказ

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение",
107076, Москва, Стромынский пер., 4
www.mashin.ru

Оригинал-макет изготовлен в ООО "Издательство Машиностроение"

Отпечатано в ГУП ППП "Типография "Наука" РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК