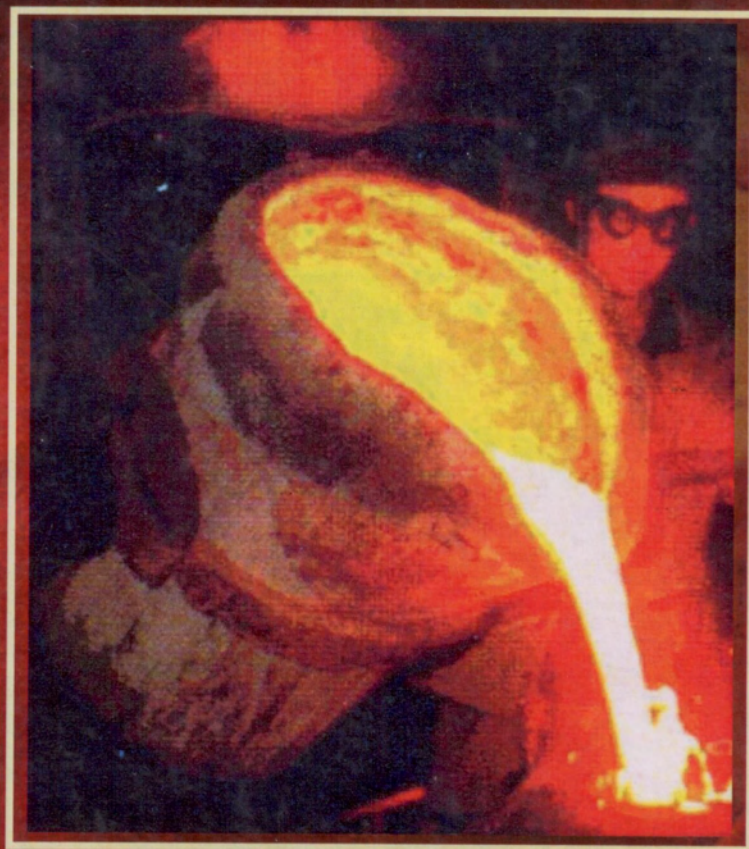


ВОРОНИН Ю.Ф., КАМАЕВ В.А.



АТЛАС

ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ
ЧЕРНЫЕ СПЛАВЫ

Ю.Ф. Воронин, В.А. Камаев

АТЛАС ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ

Черные сплавы

Москва

«Машиностроение - 1»

2005

Один из авторов — Воронин Ю.Ф. будучи работником крупного исследовательского института — НПО «ВНИИТМАШ», в течение 30 лет коллекционировал образцы дефектов отливок черных металлов, с которыми он сталкивался на различных предприятиях СССР. Собранный «коллекция» послужила основой для формирования в течение 1999–2004 годов соответствующей базы данных и создания под руководством соавтора Камаева В.А. ряда компьютерных систем:

- «Атлас литейных дефектов».
- «Интегрированная аналитическая система повышения качества чугунного литья»;
- «Экспертная система по определению вида дефекта, причин его возникновения и способа ликвидации в стальном литье».
- «Моделирование условий снижения давления газа в форме для ликвидации газовых раковин».
- «Моделирование объемного или направленного затвердевания стенок отливки для снижения или ликвидации усадочных дефектов».

В процессе обсуждения созданных программных систем с работниками предприятий, преподавателями ВУЗов и техникумов авторы поняли актуальность создания **настольного пособия**, в котором пользователи (технолог, мастер, контролер литейного цеха; учащиеся) могли бы найти большинство ответов на вопросы **повышения качества отливок**. Это и явилось побудительным мотивом создания настоящей книги «Атлас литейных дефектов», которая, конечно, менее энциклопедична, чем аналогичная компьютерная программа, однако несравненно более доступна пользователю.

В рассматриваемый атлас вошли разработки авторов и обобщенные материалы ведущих ученых и специалистов литейной отрасли России.

В атласе **исследуются наиболее часто встречаемые в литейной практике дефекты отливок (37 дефектов)**. Большое внимание уделяется сложным видам дефектов. **Газовые раковины** представлены **8 разновидностями**, **трещины — 5**, **усадочные раковины — 3** и т.д. Для сложных видов дефектов предлагается **логическая последовательность их определения** по цвету, виду и шероховатости поверхности, расположению, форме и т.д. в виде классификаторов дефектов. Это позволяет технологу безошибочно определять дефекты отливок на площадке брака.

Несложные виды дефектов (обвал, обжим, задир, перекося и т.д.) представлены небольшой, но конкретной информацией, позволяющей без затруднения ликвидировать рассматриваемые пороки отливок.

Наряду с **цветными фотографиями рассматриваемых дефектов**, которые представлены с описанием конкретных причин возникновения и способов ликвидации брака литья, в атласе приводятся дополнительные расширенные **материалы по основным причинам возникновения дефектов и способам их ликвидации**. Освобождая читателя от сложных рассуждений по определению дефектов, причин возникновения и способов ликвидации, авторы попытались в полном объеме, доступным языком ввести технологов в режим быстрого реагирования на возникающий дефект. При полном изучении атласа технолог может без труда предупреждать возникновение дефектов уже на стадии разработки техпроцесса. Однако все это может быть только при строгом выполнении техпроцесса на всех этапах производства отливок.

Для использования знаний опытных литейщиков в составе атласа приведен раздел **«Разное, или Советы бывалого»**. В нем описываются случаи из практики и рассуждения о повышении качества литья.

Кстати, о случаях из практики.

Трудности, с которыми встречаются литейщики при распознавании сложных дефектов отливок, например, газовых раковин, перерастают иногда во взаимную неприязнь между отдельными членами единого коллектива. Автору пришлось наблюдать за таким случаем. Небольшая корпусная отливка имела раковину. Осмотр ее на площадке брака происходил уже после дробеструйной обработки, в результате которой поверхность раковины получила однотонную, светлую поверхность со следами воздействия дробы. ОТК предъявлял начальнику плавильного отделения возникновение этого брака, как усадочную раковину, в результате высокой температуры заливаемого металла. Начальник плавильного отделения не соглашался с такой формулировкой и давал определение дефекту, как газовая раковина.

Такие разговоры на повышенных тонах были результатом отсутствия у обеих сторон знаний по правильной классификации дефектов отливок. По просьбе обеих сторон автору пришлось на месте вскрыть причину дефекта и убедить в этом спорящие стороны.

При осмотре дефекта стало ясно, что он располагается в верхней части отливки, имеет слегка приплюснутый вид. В центральной части раковины имела «горошина», т.е. «фосфидный выпот», как результат образования фосфидной эвтектики. Имея более низкую температуру затвердевания, фосфидная эвтектика часто выдавливается при усадке металла в газовые раковины. По этим признакам удалось установить, что рассматриваемый дефект является газовой раковиной — «пузырь подкорковый». Обе стороны согласились с установленной классификацией дефекта.

Специально для ликвидации подобных споров и быстроты определения рассматриваемых дефектов был создан «Классификатор газовых раковин» [10, 11]. В нем описываются основные морфологические признаки газовых раковин (цвет поверхности раковины, ее структура, место расположения раковины, вид и др.), приводятся фотографии дефектов, причины их возникновения и способы ликвидации.

Авторы заранее приносят извинения за возможно раздражающие воздействия на читателя достаточно многочисленных повторов в разных разделах книги. Эти повторы сделаны умышленно, чтобы читателю не приходилось листать книгу ради извлечения небольшой ссылки. С другой стороны, при необходимости обращения к большому массиву информации в книге предусмотрены соответствующие ссылки, например (см. 2.3. § 5) — означает обращение к § 5 главы 2.3.

Авторы выражают признательность Воронину Сергею Юрьевичу за участие в подборе материалов при составлении книги, Матихиной Анне Владимировне и Агееву Владимиру Константиновичу за участие в подготовке книги.

Авторы будут благодарны всем литейщикам за замечания и дополнения в предлагаемой книге. Это будет бесценная помощь по созданию более насыщенного и эффективного пособия специалистам литейного производства.

В настоящем атласе рассматривается 37 видов дефектов.

Группа «Несоответствия по геометрии» содержит четыре вида дефектов: коробление, механическое повреждение, искажение размера, смещение. Кроме коробления, которое рассматривается довольно подробно, остальные дефекты из-за их несложного возникновения и ликвидации рассматриваются в существенно меньшем объеме.

Группа «Неслитины и недоливы» представлена дефектами «Неспай» и «Недолив». У этих дефектов очень много похожего, и они укладываются в одну схему: заливка формы с возникновением на определенных этапах заполнения неблагоприятных условий.

Группа «Несплошности в теле отливки» относится к самому сложному разделу литейной технологии. В ее состав входят:

- 8 разновидностей газовых раковин;
- 3 вида усадочных дефектов;
- 5 видов и 5 подвидов трещин;
- королек.

Этой группе дефектов уделено наибольшее внимание, разработаны «Классификаторы дефектов» по газовым раковинам и по трещинам. На основе глубокой проработки раздела «Газовые раковины» авторами разработана автоматизированная система «Оптимизация газового режима литейной формы», рассматривающая эффективные варианты ликвидации газовых раковин в отливках.

Группа дефектов «Приливы» относится к несложной, но, тем не менее, ей уделено достаточно внимания. В состав группы входят дефекты: «Залив», «Распор», «Задир», «Размыв», «Обжим», «Обвал», «Подрыв».

Группа «Несоответствия по структуре металла» содержит дефекты «Ликвация» и «Отбел». Значительное внимание здесь уделено ликвации как в чугунах, так и в сталях.

Группа «Неметаллические включения» представлена шлаковыми включениями. Песчаные раковины в данном атласе не рассматриваются, поскольку они являются следствием группы «Приливы».

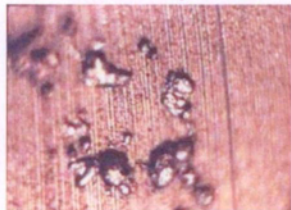
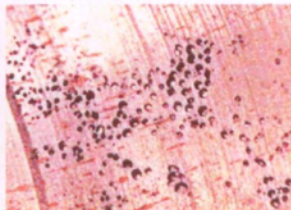
Группа «Дефекты поверхности» содержит четыре дефекта: «Пригар», «Ужимины», «Складчатость», «Окисные пленки». Эти дефекты по сложности относятся к непростым, и им в атласе уделено достаточно внимания.

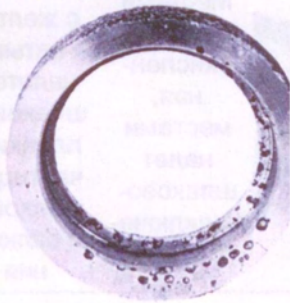
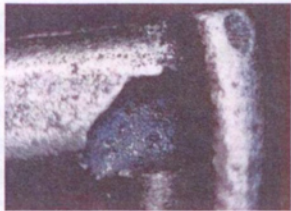
Сфера применения атласа: литейное производство, ремонтные работы, контроль качества.	Цели и задачи: выявление, классификация, ликвидация дефектов.	
Содержание атласа: описание, классификация, ликвидация дефектов.	Методы исследования: визуальный контроль, рентгенография, ультразвуковая дефектоскопия.	Рекомендации по устранению дефектов: изменение технологии, улучшение качества сырья, контроль за процессом.

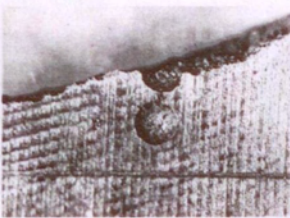
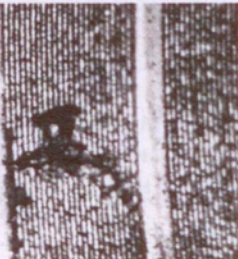
Раздел 1. Газовые раковины

Классификатор газовых раковин

Таблица 1

Группы	Классификация раковин		Состояние поверхности	Цвет поверхности	Форма поверхности	Расположение раковин
1	2	3	4	5	6	
I	Светлая, рассредоточенная		Гладкая	Блестящая, светлая	Мелкая, преимущественно сферическая, 2–6 мм	Группами, поражают чаще толстые сечения и тепловые узлы отливки
						
	Рис. 1а	Рис. 1б				
Причины возникновения Насыщение водородом, азотом, окисью углерода извне (форма, стержень, смолы, разливочные устройства), либо диффузия в металле.			Способы ликвидации Снижение или ликвидация влаги в форме, разливочных устройствах, ликвидация ржавой и влажной шихты, карбамидных смол и добавок.			
I	Светлая, локальная		Гладкая	Блестящая, светлая	Сферическая крупная, от 6 мм до больших размеров	Внутренняя или поверхностная
						
	Рис. 2а	Рис. 2б				
Причины возникновения Влага формы (стержня), краски недосушенных разливочных устройств			Способы ликвидации Снижение влаги в форме и стержне. Ликвидировать влагу в краске, разливочных устройствах. Выполнить хорошую вентиляцию формы (стержня).			
I	«Пористость подкорковая»		Гладкая	Блестящая, светлая	Сферической или каплеобразной формы, длиной до 5 мм	У поверхности отливки скоплениями
						
	Рис. 3а	Рис. 3б				
Причины возникновения Восстановление окислов металла с образованием газа, конденсат влаги на форме (стержне), наличие азотсодержащих материалов.			Способы ликвидации Снизить простой собранных форм. Дегазировать металл в ковше. Ликвидировать излишнюю смазку моделей, ржавую шихту, азотсодержащие основные и вспомогательные материалы.			

1	2	3	4	5	6	
II	Сферическая, с цветами побежалости		Гладкая, окисленная	Блестящая, с цветами побежалости	Сферическая, размером более 3 мм	Отдельно или небольшими группами внутри отливки
						
	Рис. 4а	Рис. 4б				
Причины возникновения Растворение окиси углерода в металле, местный источник газовыделения, повышенная газотворность смеси.			Способы ликвидации Ликвидация ржавой шихты и остатков алюминия в шихте. Выполнение расчетной вентиляции формы (стержня), ликвидация местных источников газовыделения.			
III	Сферическая, окисленная		Гладкая, окисленная	Серо-синего цвета недолитой отливки	Сферическая, размером более 6 мм	В различных частях отливки могут иметь неодинаковую форму
						
	Рис. 5а	Рис. 5б				
Причины возникновения Повышенное давление газа в стержне (форме), местный источник газовыделения, низкая температура металла и высокая скорость заливки. Недостаточный напор металла.			Способы ликвидации Выполнение расчетной вентиляции формы (стержня). Ликвидировать местный источник газовыделения (рем. состав, выступающая часть формы или стержня). Повысить температуру металла и снизить скорость заливки.			
III	Пузыри подкорковые		Гладкая, окисленная, с точечными шероховатыми местами	Блестящая, серо-синего цвета недолитой отливки	Округлая приплюснутая, размером более 5–10 мм	На горизонтальных поверхностях, отделена от поверхности тонкой корочкой металла
						
	Рис. 6а	Рис. 6б				
Причины возникновения Повышенное давление газа в стержне (форме). Неправильный подвод металла в отливку. Недостаточный напор металла. Низкая температура металла и высокая скорость заливки.			Способы ликвидации Выполнение расчетной вентиляции формы (стержня) и подвода металла, устраняющего противодействие газа в стержне (форме). Понижение газотворности смеси и скорости заливки. Повышение температуры заливаемого металла.			

1	2	3	4	5	6
IV	Шлакогазовая  Рис. 7а  Рис. 7б	Местами гладкая, окисленная, местами налет шлакового включения	Синеватая, с желтоватым налетом шлаковой пленки и частицей шлакового включения	Сферической или иной формы	Единично или неравномерными группами в теле или у поверхности отливки
Причины возникновения Контакт частиц шлака с расплавом металла или формы с выделением газа. Восстановление окисленного металла с образованием пузырей и захватом шлаковых частиц.		Способы ликвидации Удаление шлака в ковше и улавливание в литниковой системе, раскисление металла.			
V	Газоусадочная  Рис. 8а  Рис. 8б	Матовая, окисленная, гладко-шероховатая с более или менее выраженным дендритным рельефом	Серо-синего цвета недоливки	Закрытые полости неправильной формы или строчечные с узким устьем	В местах подвода питателей, у стержней с местным выделением газа в утолщенной части отливки, и т.д.
Причины возникновения Местный перегрев формы или стержня в месте скопления металла, локальное выделение газа в массивную часть отливки.		Способы ликвидации Правильный выбор места подвода питателей (без разогрева формы или стержня), снижение газотворности смесей и особенно ремонтного состава.			

Газовые раковины по морфологическому состоянию и расположению можно разделить на 8 разновидностей. Если вы не владеете этой информацией, будет сложно определить рассматриваемый дефект. В приводимом материале рассмотрены основные характеристики газовых раковин. Представленная таблица 1 – «Классификатор газовых раковин» позволяет, при детальном ознакомлении с ней, точно определить вид рассматриваемой на практике газовой раковины. Например, если газовая раковина будет гладкая, с точечными шероховатыми местами, блестящая, серо-синего цвета недоливки, округло-приплюснутая, размером более 5–10 мм, располагающаяся на горизонтальных поверхностях и отделена от поверхности тонкой коркой металла, то это точно будет газовая раковина «Пузыри подкорковые». С этим дефектом можно ознакомиться по информации, представленной в главе 7. Другой пример: если газовая раковина будет гладкая, блестящая, светлая, ближе к каплеобразной форме, длиной до 5 мм, располагающаяся у поверхности отливки скоплениями, то это будет «Пористость подкорковая».

Глава 1.1. Раковина гладкая, светлая, рассредоточенная, сферической формы, мелкая (2–6 мм)

Описание дефекта

Небольшие полости с гладкими стенками размером с головку булавки или более. Дефект располагается закрыто, обширными группами, наиболее часто встречающимися в толстых сечениях и тепловых узлах отливки.

Формирование раковин

Описанный дефект может возникнуть в результате следующих причин:

- насыщение водородом металла в результате соприкосновения с сырой футеровкой печей, невысушенным желобом и литейным ковшом, влажными стержнем и формой;
- образование окиси азота и углерода в результате контакта с мельчайшими окисленными брызгами металла, со стержнями на основе карбамидной смолы и др.;
- диффузия водорода, азота и окиси углерода из внешних частей отливки к внутренним.

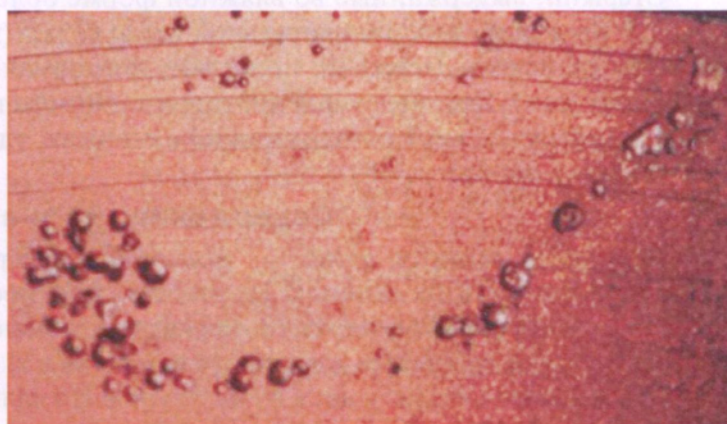


Рис. 1.1.1. Дефект – раковина гладкая, светлая, рассредоточенная, сферической формы, мелкая (2–6 мм)

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§ 1. Влажность стержня или формовочной смеси

Избыток влаги в форме или стержне неизбежно приведет к появлению раковин гладких, светлых, блестящих, рассредоточенных по поверхности контакта стержня или формы с металлом. Раковины могут иметь сферическую или близкую к ней форму.

Содержание влаги в стержне

Испарение влаги с поверхности стержней при их отверждении зависит от следующих факторов:

1. Влажность газовой среды, окружающей стержень.
2. Температура этой среды.
3. Скорость движения газов над поверхностью стержня.
4. Барометрическое давление.

Чем ниже влажность, выше температура, больше скорость движения газов и меньше давление, тем интенсивнее идет процесс испарения.

Диффузия влаги из глубинных слоев стержня зависит от зернового состава смеси и содержания влаги в исходном материале. Процесс сушки нельзя ускорить только улучшением условий для испарения влаги с поверхности материала, так как влага из глубинных слоев из-за незначительной скорости диффузии не успевает поступать к поверхности испарения и может остаться в стержне.

Необходимо контролировать качество сушки стержня путем взятия пробы на влажность из средней части стержня при нормальных условиях. Оптимальное содержание влаги — 0,2–0,4%.

Стержни, выдержанные во влажной форме более 1 часа, должны быть извлечены оттуда для просушки или окончательной отбраковки (в зависимости от требований к прочностным свойствам стержней, поскольку повторная сушка в ряде случаев приводит к потере прочности). При подсушке противопопригарного покрытия следует обращать внимание на сушку вогнутых мест и поднутрений в стержне, где может быть скопление краски и неполное удаление влаги.

Содержание влаги в форме

Влажность является одним из важнейших факторов, определяющих свойства смеси и качество полученных отливок. Прочность, плотность, газопроницаемость формы изменяется в зависимости от влажности, так как связующие материалы (глина, сульфитная барда, жидкое стекло и др.) также изменяют свои свойства в зависимости от влажности.

Для каждого состава смеси существует оптимальная величина влажности. Ее принято выбирать по максимуму прочности смеси во влажном состоянии. Диапазон изменения влажности может меняться от 2 до 8% [4–6]. Отклонение влажности в большую или меньшую сторону сказывается на работе технологического оборудования. Повышенная влажность является причиной образования различных дефектов, в том числе и объемных газовых раковин. При контакте с заливаемым в форму металлом излишняя влага способствует интенсивному парообразованию. При парообразовании воды ее объем увеличивается примерно в 1250 раз. Поэтому при увеличении содержания влаги в форме возможно появление газовых раковин. В ряде случаев возможен «вскип» формы с выбросом из нее заливаемого металла.

Для снижения возможности образования газовых раковин рекомендуется:

1. Содержание влаги в формовочной смеси не должно превышать 4,5%.
2. Увеличить вентиляцию формы за счёт создания незаливаемой металлом вентиляционной системы.
3. Уменьшить скорость заливки форм металлом.
4. Увеличить количество выпоров в форме.
5. Увеличить зернистость песка для улучшения газопроницаемости формы.
6. Выполнять наколы на верхней полуформе душником 5–7 мм в количестве не менее 4 шт. на 1 дм².
7. Использовать подсушенные или сухие литейные формы.

Недоотвержденные стержни вызывают опасность возникновения газовых раковин. На рисунке 1.1.2 представлен фрагмент отливки «Колесо» с гладкими, светлыми, рассредоточенными раковинами. Газовые раковины образовались в результате недосушенного стержня из жидкостекольной смеси. Полная просушка оставшихся стержней ликвидировала возникновение раковин.

Специально для проведения исследований, направленных на ликвидацию газовых раковин, авторами разработана компьютерная система «Оптимизация газового режима литейной формы», информацию о которой можно получить по e-mail: castling@cad.vstu.ru

§ 2. Содержание водорода и азота в металле

Сталь

Водород попадает в сталь вследствие использования при плавке ржавого лома, насыщенных газом ферросплавов, использования влажных компонентов шихты и т.д.

При растворении водорода в жидкой стали газ не выделяется, что объясняется способностью его давать насыщенные растворы. При резком охлаждении стали в процессе заливки в форму происходит резкое понижение растворимости водорода и его выделение из насыщенного раствора в виде газовых пузырьков, образующих впоследствии газовые раковины. При дальнейшем воздействии переувлажненной литейной формы подкорковые раковины переходят в сплошные газовые раковины, пронизывающие почти всю толщу отливки [5, 24].

Нормальная газонасыщенность основной электростали составляет по расплавлению твёрдой шихты 13–60, в конце периода окисления 23–65 и перед выпуском 5–14 см³/100 г металла. Обычное содержание водорода в электростали 0,004–0,005%.

Понижение содержания водорода с 7–9 до 4–5 см³/100 г жидкой стали значительно повышает пластичность литой стали и устраняет образование раковин и других дефектов. Необходимо, чтобы шихтовые материалы не содержали ржавчину, состоящую из гидрата окислов железа Fe_m(OH)_n; следует употреблять только сухую руду, прокаливать ферросплавы перед присадкой в печь, в особенности ферросилиций, сушить ковши дном вверх. Не допускать присадки извести, успевшей поглотить влагу и частично превратиться из CaO в Ca(OH)₂. Полезно присаживать известняк, прокаленный при 500–700°С, для сушки и удаления конституционной влаги. В результате можно отметить, что водород — одна из самых нежелательных примесей в стали, идущей на фасонные отливки. Один процент продуктов коррозии стали в шихте вносит в сталеплавильную печь около 2,5 м³ водорода на 1 т стали.

Наибольшее влияние, которое оказывают газы на литейные и эксплуатационные свойства стали, относится и к азоту. Сталь, выплавленная в электродуговых печах, содержит в 5–10 раз больше азота, чем мартеновская. Обычное содержание азота в стали, определяемое по способу горячей экстракции в вакууме, колеблется от 0,002–0,006%. Газовые раковины, вызванные наличием азота, можно исключить введением в сталь ферротитана перед выпуском, чтобы связать азот в прочные нитриды титана.

Минимальное содержание газа в отливке можно, прежде всего, обеспечить деаэрацией шихтовых материалов и расплава до начала заливки, а также задержкой выделения растворённых газов во время кристаллизации в литейной форме.

К процессам получения стали, способствующим резкому снижению количества газов в расплаве, можно отнести плавку и разливку в вакууме и др.

Повышенная скорость охлаждения в интервале кристаллизации задерживает выделение газов из расплава до его перехода в твёрдое состояние и предотвращает образование ситовидной пористости в стальных отливках.

На рисунке 1.1.3 представлена отливка «Фланец», на обработанной поверхности которой имеются газовые раковины светлые, гладкие, рассредоточенные, сферической формы, мелкие. Раковины образовались в связи с повышенным содержанием в расплавленном металле водорода, который возник в металле в результате использования ржавой и влажной шихты. После тщательного отбора шихтовых материалов и их просушки дефект не появлялся.

Чугун

Увеличенное содержание в металле водорода и азота приводит к появлению в отливке рассматриваемых газовых раковин. Для снижения возможности появления газовых раковин необходимо постоянно следить за выполнением ряда мероприятий.

1. Не применять ржавый лом. Одна тонна шихты с 1% ржавчины содержит 2,5 кг водорода. При плавке водород выделяется в атомарном состоянии и активно растворяется в металле.

2. Не рекомендуется использовать литейный чугун, имеющий пористый излом. Источником образования газа могут быть и ферросплавы (см. таблицу 1.1.1). Ферросплавы необходимо высушивать перед введением их в печь.

Таблица 1.1.1. Ферросплавы

Ферросплавы	Содержание газа, %		
	H	O	N
75%-ный ферросилиций	0,00143	0,024	0,001–0,0105
90%-ный ферромарганец	0,0012	0,002	0,0014
силикокальций	0,0072	0,007	0,031
63%-ный феррохром	0,001	0,078	0,0427
37%-ный ферротитан	0,0041	0,155	0,0077

3. Применять вакуумную плавку, что позволит удалить до 70% растворенного водорода, или продуть чугун в течение нескольких минут сухим инертным газом, например, азотом или аргоном.
4. В расплаве снизить содержание алюминия, титана, магния и марганца, которые способствуют повышению концентрации водорода в жидком чугуне. В таблице 1.1.2 представлено содержание водорода в жидком чугуне от наличия составляющих в расплаве.

Таблица 1.1.2. Концентрации водорода в жидком чугуне

Содержание составляющих, %			Содержание водорода, %
Марганец	Магний	Алюминий	
0,3	-	-	0,2
0,5	-	-	0,35
0,75	-	-	0,5
1,0	-	-	0,65
1,25	-	-	0,8
1,5	-	-	1,1
1,75	-	-	1,5
-	0,02	-	0,3
-	0,05	-	1,2
-	0,075	-	1,7
-	0,1	-	2,2
-	0,125	-	2,35
-	0,15	-	2,3
-	-	0,02	0,9
-	-	0,05	1,6
-	-	0,075	1,75
-	-	0,125	1,7
-	-	0,15	1,6

В чугуне должно быть меньше 0,01–0,02% алюминия и титана. Алюминий ускоряет разложение воды, т.е. увеличивает содержание растворенного в металле водорода. Действие магния аналогично алюминию, если его остаточное количество в чугуне превышает 0,09%. Марганец способствует растворению водорода в сплаве. Особенно вредно одновременное присутствие алюминия и магния.

5. Заменить ферросилиций с 1,75–2,25% алюминия на ферросилиций с 0,5–0,8% алюминия.
6. Использовать для изготовления отливок сухие или подсушенные формы.
7. Вводить в сырые песчано-глинистые формовочные смеси не менее 4% каменноугольной пыли или древесного пека, битума, 3–5% мелкораздробленных окислов железа.

Для уменьшения содержания азота в чугуне рекомендуется:

1. Исключить использование в шихте стали, выплавленной в электродуговых печах, поскольку она содержит в 5–10 раз больше азота, чем мартеновская.
2. При выплавке чугуна в индукционной печи необходимо использовать науглероживатели с содержанием азота до 0,5%.
3. При изготовлении ответственных отливок из серого чугуна следует проверить содержание азота в стальных отходах, особенно если сталь была выплавлена в электродуговой печи. Высокое содержание азота в стальных отходах приводит к появлению газовой пористости.
4. Газовые раковины, вызванные наличием азота, можно исключить введением в металл титана, который образует устойчивые нитриды. Если требования к структуре металла высоки, то содержание титана не должно превышать 0,05%.

§ 3. Газопроницаемость формовочной смеси и стержня

Для улучшения удаления образующихся газов из стержней их газопроницаемость должна быть на достаточно высоком уровне. Стержни, отверждаемые в оснастке, должны иметь газопроницаемость не менее 130 ед., а отверждаемые в тепловых сушилках — не менее 100 ед.

Для повышения газопроницаемости стержня рекомендуется [4]:

1. Вводить в смесь опилки или древесную муку.
2. Стержни массой более 30 кг, изготовленные по «горячей» или «холодной» оснастке, необходимо подсушивать в сушиле.
3. Создавать полости в стержнях (оболочковые, опустошенные) [40, 41].
4. Использовать более крупные пески.
5. При исправлении стержней отломившиеся части следует приклеивать не по всей поверхности излома, т. к. склеивающее вещество имеет плохую газопроницаемость, а по краям излома. Центральная часть должна обеспечивать свободный отвод газов.
6. Увеличить количество газоотводящих каналов в стержне, прочистить каналы от краски, связать каналы с атмосферой. Крупные каналы закрыть пористой пробкой.

Снижение возможности образования «газовых раковин» может быть достигнуто повышением газопроницаемости формовочной смеси до указанных выше пределов. Компенсировать недостаточность газопроницаемости смеси можно за счет хороших вентиляционных каналов из стержней, увеличенным количеством наколов на форме верха.

Уплотненная при повышенном удельном давлении форма обладает пониженной газопроницаемостью.

Следует уменьшить длину пути фильтрации газа; уменьшить расстояние от отливки до стенок и лада опок, предусмотреть вентиляционные каналы в форме и стержнях. Умень-

шить содержание влаги до 4%, снизить количество глины, крепителя, молотого угля. Крупные пески повышают газопроницаемость, поэтому надо чаще освежать смесь.

Частично взрывное действие выделяющихся газов может быть амортизировано повышенной пористостью формы. Действие пористости положительно тем, что образование поверхностных газовых раковин происходит в начальные моменты соприкосновения жидкого металла с формой, когда пористость оказывается наиболее действенным фактором [9].

Газовые раковины в отливке «Цилиндр» (рис. 1.1.4) образовались в результате низкой газопроницаемости формовочной смеси и стержня при отсутствии вентиляции, как в форме, так и в стержне. При замене песков фракции 02 на фракцию 04, выполнении вентиляционных наколов в форме и каналов в стержне дефекты не возникали.

§ 4. Вентиляционные наколы

Вентиляционные наколы в форме значительно сокращают длину пути фильтрации газа и дают возможность снизить его давление. В первоначальный момент заполнения формы металлом возникает обильное выделение газа от стержней и формы. Если давление газа превысит 780 Н/м^2 (8 г/см^2), то возникает возможность образования газовых раковин в отливке [35]. В этот момент должны работать вентиляционные каналы стержней и формы и снижать возникающее давление газа. Значительную роль в этом играют вентиляционные каналы верхней полуформы, которая заполняется металлом в последнюю очередь. Для снижения давления газа в верхней и нижней полуформе меньше критического выполняют наколы на глубину, не достигающую 1 см модели. При наличии на полуформе глухих выпоров они должны быть сообщены наколом душника с атмосферой [33].

Указанное в таблице 1.1.3 число наколов при их выполнении на требуемую глубину значительно снижает газовое давление в форме, предупреждая образование газовых раковин.

Таблица 1.1.3. Число и диаметр наколов на поверхности формы

Площадь опоки, м^2	До 0,25	0,25–1,0	1–2	свыше 2
Диаметр душника, мм	3	5	7	10
Количество наколов по 1 дм^2	15	10	7	5

§ 5. Азотистые соединения в составе формовочных и стержневых смесей

Азотистые соединения в составе формовочных и стержневых смесей склонны к разложению при контакте с металлом и насыщению его газами. Для ликвидации этого явления рекомендуется:

1. Снизить содержание мочевины в композиции с фенолоспиртом до 6–8%. При этом несколько снизится прочность смеси (на 5–10%), будет острее проявляться выделение формальдегида (на запах), однако выделение азота в металл заметно понизится или полностью прекратится.
2. Уменьшить долю карбамидной смолы в смеси. В случае использования композиции фенолоспирта и карбамидной смолы снижение последней приведет к понижению скорости отверждения смеси на 10–30%.
3. Заменить карбамидную смолу на другую партию этой же смолы.

Пример. На химическом заводе приготовили карбамидную смолу: а) свежую смолу слили в тару со следами другой смолы или вещества; б) пропустили смесь по трубопроводам с остатками другой смо-

лы или вещества или допустили случайное совмещение приготовленной смолы с другим веществом. В результате использования стержней с этой смолой на отливке появились поверхностные рассредоточенные раковины. Замена используемой смолы на такую же смолу другой партии позволила полностью исключить возникновение газовых раковин.

4. Уменьшить или ликвидировать азотосодержащие добавки в стержневой смеси или противопопригарной краске.

5. Ликвидировать добавки, выделяющие обильное количество аммиака или другого газа, или вводить эти добавки в строгом соответствии с технологическими требованиями.

Пример. Для улучшения технологических свойств в стержневую смесь вводился аммоний фосфорнокислый, трехзамещенный в тонкоизмельченном состоянии с величиной зерна не более 0,2 мм. Газовых раковин на отливке не обнаруживалось. При нарушении технологии приготовления добавки, т. е. увеличении дисперсности зерен до 0,4 мм, отливки были поражены мельчайшими газовыми раковинами, такими же, как в описываемом дефекте.

6. Использовать для приготовления стержней смолы с содержанием азота не более 8%.

7. Стержни покрывать противопопригарной краской.

8. Вводить в состав смеси 2–5% окиси железа, окиси хрома или других веществ, способствующих интенсивному теплоотводу и быстрому образованию корки металла [12].

Для лучшего отверждения стержней в состав смеси иногда вводят аммониевые соединения. Однако, если фракция аммониевого соединения будет более 0,1 мм, то при контакте с жидким металлом может возникнуть образование газа с появлением раковин. На рисунке 1.1.5 показана отливка и её фрагмент с рассматриваемой газовой раковиной. На рисунке виден цепочечный след раковин от выделения газа из стержня в заливаемый металл.

§ 6. Насыщение металла газом при плавке и заливке

Сталь

К обычным печным газам, окружающим металл в процессе его расплавления, рафинирования или разливки, относится азот, кислород, водяные пары, продукты горения — окись углерода, углекислый газ, сернистый газ и др. [25].

Растворимость элементарных газов и газообразных химических соединений зависит от температуры и давления. Чем выше температура металла, тем больше растворимость газов. При затвердевании растворимость газонасыщенного сплава понижается и атомы растворённого газа, соединяясь в молекулы, уходят из металла или остаются в нём в виде пузырьков, делая его ноздреватым.

Сталь, предназначенную для отливок, нужно хорошо раскислять. Алюминий — в обычных плавках самый сильный раскислитель — может довести содержание свободной закиси железа в стали до 0,002%. При недостаточном раскислении стали в момент её охлаждения начинает выделяться газ, образуя в отливках раковины.

Для борьбы с газовыми раковинами и усадочной пористостью выполняются следующие мероприятия:

- полное раскисление стали;
- повышение содержания кремния в углеродистой и низколегированной стали до максимально допустимого;
- присадка алюминия при заливке сухих форм до 0,8–1,0 кг/т, чтобы получить остаточное содержание алюминия в пределах 0,035–0,04%;
- прокаливание разливочных ковшей после ремонта;

- поддержание энергичного кипения жидкого металла в печах с целью удаления газа и примесей;
- не загружать в печь во время кипения ванны влажную руду и другие отсыревшие присадки и добавки.

Дефект отливки «Корпус» (рис.1.1.6) представляет собой мелкие, гладкие, светлые, рассредоточенные, преимущественно сферической формы газовые раковины. Дефект образовался в результате неполного раскисления стали. В результате этого растворенный в металле газ при охлаждении сгруппировался в видимые на рисунке газовые раковины. При полном раскислении стали алюминием дефекты не повторялись.

Чугун

1. Источником образования газовых раковин и усадочной пористости может быть водород, образующийся из сырой футеровки печей, невысушенного желоба и литейного ковша, из непрокаленных и влажных ферросплавов, вводимых в металл, и др. Футеровку ковшей следует подогревать до красного цвета, ферросплавы следует хранить в сухом помещении и перед использованием прокаливать.
2. Чем длительней контакт расплавленного металла с газовой атмосферой, тем больше водорода растворяется в металле. Следовательно, процесс плавки надо вести быстрее. Покровные флюсы понижают растворение газа в металле.
3. При небрежной сортировке чугунных отходов от двигателей внутреннего сгорания возможно попадание алюминия в шихту.
4. При использовании деревянных моделей для разжигания вагранки следует строго контролировать извлечение всех алюминиевых частей.
5. Эффективным способом является сокращение пути движения жидкого металла в форме за счет уменьшения длины элементов литниковой системы.
6. Вытекающая из ковша струя металла должна быть компактной. Перерывы в заливке недопустимы.
7. Высота носка ковша над уровнем чаши должна быть минимальной. Приемную чашу следует располагать у края опоки.

§ 7. Газотворные разделительные покрытия

При изготовлении форм и стержней литейщик сталкивается с проблемой прилипания формовочной и стержневой смеси к модельной или стержневой оснастке. Для предотвращения этой проблемы используются противадгезионные покрытия, по характеру исходных компонентов весьма разнообразные [46].

Разделительные покрытия могут состоять из одного или нескольких ниже перечисленных материалов: керосин, вода, крахмал, спирт, канифоль, каучук, кремнийорганическая эмульсия, ПВС и др. Некоторые из этих веществ имеют повышенную газотворную способность.

При нанесении разделительного покрытия на модель или стержневой ящик в углублениях оснастки могут оставаться излишки покрытия. При заполнении смеси излишки покрытия могут впитываться формовочной или стержневой смесью и вызывать газовыделение при контакте с заливаемым металлом.

Для предупреждения образования газовых раковин по этой причине разделительный состав следует наносить тонким слоем, но чаще. При наличии заполнения углублений разделительным составом необходимо провести его удаление при помощи ветоши, сжатого воздуха или другим способом.

§ 8. Влага непросушенного слоя краски

Противопригарные покрытия разделяются на водные, сухие или на основе растворителя. Продолжительность высыхания слоя краски зависит от концентрации паров растворителя в воздухе над окрашенной поверхностью. На открытых поверхностях формы благодаря свободной конвекции воздуха краска высыхает быстрее, чем в углублениях формы, где пары растворителя удаляются преимущественно путем диффузии. Поэтому продолжительность высыхания краски надо контролировать по времени, необходимому для полного отверждения слоев в условиях, имитирующих сложные поверхности форм и стержней с различными углублениями. Контролю на продолжительность высыхания подвергают быстросохнущие (испаряющиеся) и химически твердеющие краски [46].

Покрытия на основе водных красок сушат тепловым способом в камерах или проходных сушилках, под сильными отражательными лампами и т.д. По отработанной технологии за критерий оценки тепловой сушки следует считать время, необходимое для полного отверждения слоя краски в углублениях литейной формы.

Для предупреждения возникновения газовых раковин необходимо:

1. Исключить заливки краски толщиной более 0,5 мм в углубленных горизонтальных местах полуформы.
2. Осуществлять входной контроль составляющих противопригарной краски, в особенности, газотворных.
3. Увеличить технологическое время подсушки формы, либо повысить интенсивность подсушки, создав, таким образом, гарантию качества.
4. Применять эффективные составы покрытий: сухие по типу фирмы «FOSECO» (Англия), самоотвердевающие, быстровысыхающие. Использовать подвяливание покрытия горячим воздухом, светом излучением от ламп накаливания, газовыми панелями.

Гладкие, светлые, рассредоточенные раковины отливки «Кольцо опорное» (рис. 1.1.7) образовались из-за невысушенного слоя противопригарной краски, который подсушивался пламенем горелки. После тщательного контроля за качеством сушки дефект не появлялся.

§ 9. Подготовка разливочных ковшей

Для разливки стали по формам обычно применяют стопорные ковши, позволяющие полностью исключить попадание шлака в формы. При разливке марганцевой стали, а также при разливке небольших порций металла применяют чайниковые ковши, имеющие перегородку для задержания шлака [48].

На рис. 1.1.8 представлены различные варианты шлакоулавливающих перегородок и устройств.

Для заливки форм с небольшой металлоёмкостью применяют комбинированный способ. Он состоит в том, что металл из печи выпускается в большой ковш (стопорный или чайниковый), а оттуда выдаётся в небольшие ковши, применяемые для разливки металла.

Стопоры и стаканы для разливки стали изготавливаются из высокоогнеупорного материала — шамота или графита. Все ковши перед заполнением их металлом сушат. Для получения доброкачественных отливок очень важно хорошо просушить ковши после футеровки. Недостаточная просушка ковшей, когда в футеровке ещё остаётся влага, вызывает:

1. Быстрое остывание металла ввиду расхода части тепла на досушку футеровки.
2. Кипение металла в ковше, приводящее к разбрызгиванию, а иногда и выплёскиванию металла. В этот момент происходит насыщение металла водородом.

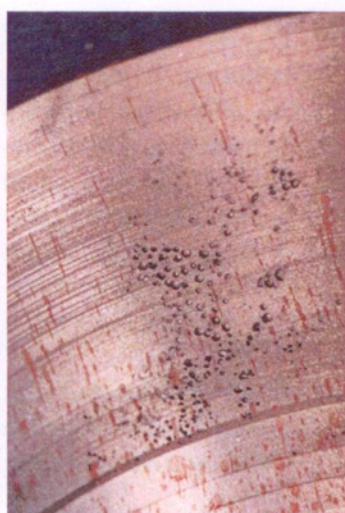


Рис. 1.1.2а
Фрагмент отливки «Колесо»
с газовой раковинной



Рис. 1.1.2б
Фрагмент отливки
(увеличено)



Рис. 1.1.4. Отливка «Цилиндр»
с газовыми раковинами



Рис. 1.1.3а
Отливка «Фланец» с
раковинной светлой, гладкой,
рассредоточенной



Рис. 1.1.3б
Фрагмент отливки «Фланец»
с увеличенным дефектным
местом



Рис. 1.1.6. Отливка «Корпус»
с газовыми раковинами



Рис. 1.1.5а
Отливка «Колесо рабочее»
с газовыми раковинами

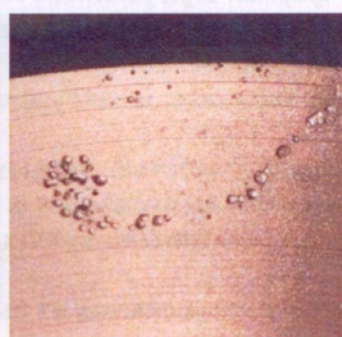


Рис. 1.1.5б
Фрагмент отливки
(увеличено)



Рис. 1.1.7. Фрагмент отливки
«Кольцо опорное» со светлыми
газовыми раковинами

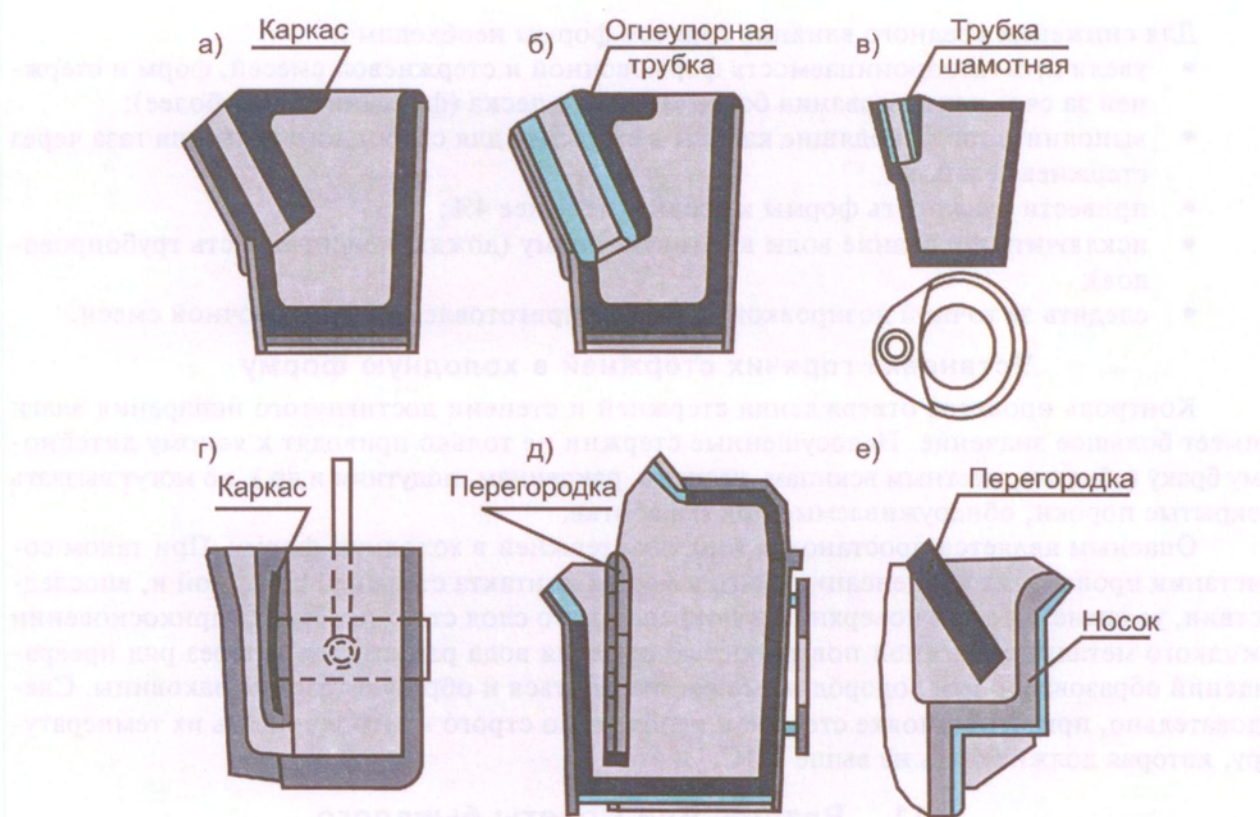


Рисунок 1.1.8. Шлакоулавливающие перегородки чайниковых ковшей:

- а – монолитная с козырьком, набитым на металлический каркас;
 б – то же, но с каналом из огнеупорной трубки; в – монолитная с каналом из шамотной трубки;
 г – перегородка в монорельсовом ковше из монолитного состава, нанесенного на металлический каркас;
 д – выполненная из кирпича; е – в носке ковша

Для сушки ковшей малой ёмкости используют камерные или небольшие шахтные печи; ковши большей ёмкости сушат газовыми или мазутными горелками. Для полного удаления свободной и связанной воды футеровку прогревают докрасна ($750\text{--}800^\circ\text{C}$) и выдерживают при этой температуре 1,5–2 часа.

§ 10. Простановка горячих стержней в холодную форму или холодных стержней в горячую форму

Установка холодных стержней в горячую форму

При установке стержней в горячую форму возникает конденсация влаги на холодной поверхности стержня. При соприкосновении жидкого чугуна с влажной поверхностью стержня вода разлагается и выделяется атомарный водород, адсорбирующийся на поверхности металла. При последующем охлаждении металла водород переходит в молекулярную форму, группируясь в поверхностном слое отливки. Из-за большой вязкости металла водород не может выделиться и образует газовые раковины. Следовательно, необходимо категорически запретить использование горячей и теплой формовочной смеси при приготовлении форм [4, 25].

Для снижения вредного влияния горячей формы необходимо:

- увеличить газопроницаемость формовочной и стержневой смесей, форм и стержней за счет использования более крупного песка (фракции 0315 и более);
- выполнить газоотводящие каналы в стержнях для свободного удаления газа через стержневые знаки;
- привести влажность формы к уровню не более 4%;
- исключить попадание воды в готовую форму (дождь, неисправность трубопроводов);
- следить за точной дозировкой воды при приготовлении формовочной смеси.

Установка горячих стержней в холодную форму

Контроль процесса отверждения стержней и степени достигнутого испарения влаги имеет большое значение. Недосушенные стержни не только приводят к явному литейному браку (обвалам, местным вскипам, неспаям, раковинам, подутям и др.), но могут вызвать скрытые пороки, обнаруживаемые при обработке.

Опасным является простановка горячих стержней в холодную форму. При таком сочетании происходит конденсация влаги в местах контакта стержней с формой и, впоследствии, увлажнение всей поверхности покрашенного слоя стержня. При соприкосновении жидкого металла с влажной поверхностью стержня вода разлагается и через ряд превращений образовавшийся водород не может выделиться и образует газовые раковины. Следовательно, при простановке стержней необходимо строго контролировать их температуру, которая должна быть не выше 35° С.

§ 11. Разное, или Советы бывалого

1. В результате плохого перемешивания в формовочной смеси могут остаться комья глины с повышенной влажностью. В процессе контакта с металлом возникнут газовые раковины, причём они могут быть беспорядочно разбросаны.
2. Для поверхностно подсушенных форм характерна излишняя проницаемость, способствующая выделению влаги перед заливкой. Приповерхностный слой формы будет содержать повышенную концентрацию влаги, что станет причиной появления газовых раковин. Для ликвидации причины возникновения раковин следует уменьшать время простоя просушенных форм перед заливкой.
3. Средние и крупные стержни из смеси с жидким стеклом после тепловой сушки могут содержать в середине неотверждённую смесь. Это часто вызвано экономией тепла или сокращением цикла отверждения. После вылежки стержней влага из недоотверждённой смеси перераспределяется по массе стержня и при заливке металлом вызовет появление большого количества мелких газовых раковин со светлым, блестящим оттенком. При этом конфигурация газовых раковин может быть самой разнообразной — от классического определения до неопишуемой.
4. Недоотверждённые стержни, изготавливаемые по нагреваемым или холодным ящикам, с применением фурановой смолы, фурфуролового спирта и др., будут иметь недоотверждённую сердцевину и выделять излишек газа. При использовании таких стержней могут возникать мелкие газовые раковины от поверхности стержня. Такие стержни требуют дополнительного доотверждения в печи при температуре 120°С.

Глава 1.2. Раковина гладкая, светлая, локальная, более 6 мм (известна также как «вскип»)

Описание дефекта

На рисунке 1.2.1 представлен дефект отливки с газовой раковиной, полости которой имеют гладкие стенки, в основном сферoidalные, иногда сообщающиеся с поверхностью. Внутренние стенки раковины блестящие. Цвет поверхности газовых раковин свидетельствует о природе их возникновения. Газовые раковины светлые, без следов окисления говорят об их образовании в связи с выделением водорода, азота или углеводорода. Дефект располагается во внутренних частях отливки, но может быть и на поверхности [28].



Рис. 1.2.1. Дефект отливки: раковина гладкая, светлая, локальная, более 6 мм, известна также как «вскип»

Формирование раковин

Описанный дефект может возникнуть в результате следующих причин:

- Механическое проникновение газа в жидкий расплав, если газы выделяются из влажного стержня или переувлажненной формы.
- Эффект кипения расплава или выброс его из формы (вскип).
- Соприкосновение жидкого металла с влажной поверхностью заливочного ковша (например, свежотремонтированный заливочный носок), формы, стержня.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§ 1. Влажность стержня или формовочной смеси

Повышенная влажность стержня или формовочной смеси оказывает прямое влияние на образование светлых, локальных газовых раковин (см. 1.1. §1).

Для снижения возможности образования объемных газовых раковин рекомендуется:

1. Снизить содержание влаги до уровня 4%.
2. Использовать подсушку форм после окраски.
3. Увеличить вентиляцию формы и стержня.
4. Уменьшить скорость заливки формы.
5. Увеличить количество выпоров в форме.
6. Увеличить зернистость песка для повышения газопроницаемости формы.
7. Исключить попадание воды в готовую форму (дождь, неисправность трубопроводов и др.).

На рисунке 1.2.2 представлен редкий экземпляр гладкой, светлой, локальной газовой раковины. Стержень был изготовлен по половинкам, одна из которых прошла неполный

цикл подсушки, в результате чего произошел «вскип» металла со стороны недосушенного стержня. Часть металла была выдавлена по разьему стержня, после чего во фланце образовался дефект «утяжина». На наличие избыточной влаги в стержне указывает светлая поверхность «утяжины», образовавшаяся в результате разложения паров воды на водород и кислород.

На рисунке 1.2.3 представлена корпусная отливка с большим, ярко выраженным дефектом — раковина гладкая, светлая, локальная («вскип»). Образованию раковины способствовала влажная поверхность стержня.

§ 2. Газопроницаемость формовочной смеси и стержня

Для улучшения удаления образующихся газов из стержней их газопроницаемость должна быть на достаточно высоком уровне.

Стержни, отверждаемые в оснастке, должны иметь газопроницаемость не менее 130 ед., а отверждаемые в тепловых сушилках не менее 100 ед. (см. 1.1. § 3).

На рисунке 1.2.4 представлена отливка «Маховик вентилia», имеющая раковину светлую, блестящего вида, размером более 10 мм, гладкую. Формовочная смесь имела газопроницаемость 60 ед. и влажность 5,4%. Наколы на поверхности формы отсутствовали. В результате газообразования влажной смеси при наличии указанных недостатков в отливке образовалась рассматриваемая раковина.

§ 3. Вентиляционные наколы

Вентиляционные наколы в форме значительно сокращают длину пути фильтрации газа и дают возможность снижения его давления. В первоначальный момент заполнения формы металлом возникает обильное выделение газа от стержней и формы (см. 1.1. § 4).

На рисунке 1.2.5 представлена газовая раковина светлого вида, блестящая. Её образованию способствовали повышенная влажность формовочной смеси и отсутствие вентиляции для выхода продуктов газообразования. После выполнения вентиляционных наколов (не менее 4 шт. на один дм²) на поверхности формы и снижения влажности формовочной смеси дефект не возникал.

§ 4. Длительность выдержки собранных форм

При выдержке собранных форм со стержнями на конвейере более 30 минут происходит увлажнение стержней, начиная от знаков и на всю окрашенную поверхность. Процессу переноса влаги на стержень сопутствует повышенная гигроскопичность краски.

При соприкосновении в процессе заливки расплава металла с влажной поверхностью стержня происходит разложение воды с выделением атомарного водорода, адсорбирующегося на поверхности металла. При последующем охлаждении металла водород переходит в молекулярную форму, группируясь в поверхностном слое отливки. Из-за большой вязкости металла водород не может выделиться и образует газовые раковины. В случае повышенного содержания влаги и обильного газообразования водород не успевает внедриться в металл и образует на поверхности отливки раковины средних и крупных размеров.

Форма отливки «Колесо насоса» в собранном со стержнями состоянии простояла более шести часов. Крупные обкладные стержни из жидкостекольной смеси были просушены не полностью. В результате выстоя влага распределилась по объему стержня и при заливке формы металлом произошел «вскип». Дефект отчетливо просматривается в верхней части отливки (рисунок 1.2.6) и имеет светлую, блестящую поверхность с волнами застывшего металла.

§ 5. Газотворные разделительные покрытия

При изготовлении форм и стержней литейщик сталкивается с проблемой прилипания формовочной и стержневой смеси к модельной или стержневой оснастке. Для предотвращения этой проблемы используются противадгезионные покрытия, по характеру исходных компонентов весьма разнообразные (см. 1.1. §7).

На рисунке 1.2.7 представлена часть фланца отливки «Корпус», имеющая гладкую, светлую раковину с «фосфидным выпотом». Дефект образовался по причине неполного удаления разделительного покрытия из углубления модельной оснастки при изготовлении формы. В результате контакта заливаемого металла с остатками разделительного покрытия произошло газообразование с возникновением дефекта. В образовавшуюся раковину при кристаллизации металла была выдавлена «фосфидная эвтектика» в виде «горошины».

§ 6. Влага непросушенного слоя краски

Противопригарные покрытия разделяются на водные, сухие или на основе растворителя. Продолжительность высыхания слоя краски зависит от концентрации паров растворителя в воздухе над окрашенной поверхностью. На открытых поверхностях формы благодаря свободной конвекции воздуха краска высыхает быстрее, чем в углублениях формы, где пары растворителя удаляются преимущественно путем диффузии (см. 1.1. §8).

Пример дефекта, образовавшегося по причине непросушенного слоя краски, показан на рисунке 1.2.8. Стержень отливки «Корпус вентиля» изготавливался по половинкам, склеивался с последующей окраской. В связи с недостаточной температурой в печи, краска и клей не были полностью просушены. После сборки формы и заливки металлом произошло газообразование из недосушенного слоя краски. В результате верхние части фланцев отливки поражены газовой раковиной. Поверхность раковины имела светлый, блестящий вид, что говорит о влиянии влаги или растворителя на образование дефекта.

§ 7. Температура заливаемого металла

Сталь

Температура заливаемого металла оказывает влияние на возможность образования горячих трещин, газовых раковин, пригара, неспая, недолива и других дефектов отливок [16].

Определение температуры заливки сводится к выбору необходимого перегрева стали, принимаемого сверх температуры начала затвердевания. При изготовлении отливок из углеродистой и низколегированной стали разных марок чаще всего достаточно иметь перегрев стали на 30–60°C, чтобы обеспечить удовлетворительную заполняемость литейных форм (см. таблицу 1.2.1). При изготовлении тонкостенных отливок и отливок с повышенными требованиями к неровности поверхности допускается наибольший перегрев стали на 50–100°C. Это относится и к отливкам, когда возможно возникновение недоливов, неспаев, газовых «пузырей подкорковых» и т.д.

Таблица 1.2.1. Интервалы температуры заливки углеродистой стали

Содержание углерода, %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Интервалы температуры заливки, °C	1560–1590	1550–1580	1540–1570	1530–1560	1525–1555	1520–1550	1510–1540

Таблица 1.2.2. Исходные данные для определения температуры заливки легированной стали

Сталь	Средняя температура начала затвердевания, °С	$k_{\text{ж}}$	Температура заливки °С, при линейной скорости подъема уровня стали в форме, мм/с		
			менее 8	8-12	свыше 12
20ГСЛ	1500	0,9	1560–1590	1550–1570	1540–1560
30ГСЛ	1493	0,9	1550–1580	1540–1560	1530–1550
40Г2Л	1490	0,9	1550–1580	1540–1560	1530–1550
110Г13Л	1370	0,8	1420–1430	1410–1420	1400–1420
30ХМЛ	1498	1	1550–1570	1540–1560	1530–1550
30ХГСЛ	1495	0,9	1560–1590	1550–1570	1540–1560
15Х1М1ФЛ	1505	1	1560–1580	1550–1570	1540–1560
70ХЛ	1470	0,9	1530–1560	1520–1540	1510–1530
20Х13Л	1490	0,9	1590–1620	1580–1600	1570–1590
0Х12НДЛ	1500	-	1590–1610	1580–1590	1570–1580
20Х13НЛ	1495	-	1570–1600	1560–1580	1550–1570
10Х18Н9ТЛ	1440	1	1590–1610	1580–1610	1580–1610
ЛА-1	1410	-	-	1540–1560	1540–1550

В таблице 1.2.1 [7] приведены рекомендуемые температуры заливки углеродистой стали, способствующие снижению возможности возникновения газовых раковин. В таблице 1.2.2 приведены исходные данные для определения температуры заливки некоторых легированных сталей с учетом снижения возможности образования газовых раковин. В обычных случаях предусматривается выполнение вентиляционной системы с выходом газа в атмосферу.

Чугун

Одним из важнейших факторов возникновения газовой раковины является недостаточная температура и высокая скорость заливаемого металла.

Температура чугуна зависит от его состава, средней толщины стенки отливки и наибольшего пути прохождения металла по горизонтали от питателей до противоположного края отливки. Для ликвидации газовых раковин по указанным выше причинам рекомендуется:

1. Для обеспечения требуемой температуры заливки в ковш набирают металл, имеющий температуру на 50–70°С большую, чем надо для заливки.
2. Температура расплава в любом месте формы в процессе заливки должна быть выше температуры нулевой жидкотекучести, при которой поток металла может остановиться. Рекомендуемая температура заливки тонкостенных (до 10 мм) конструктивных отливок должна быть на уровне 1380 градусов. Скорость заливки в ряде случаев следует принимать на 2–3 кг/с ниже нормальной.
3. По возможности следует сократить путь движения металла от питателей подводом расплава с двух противоположных сторон отливки.

§ 8. Металлостатическое давление

Под металлостатическим давлением (Н) расплава понимают давление столба металла, равное высоте от уровня его в чаше до места подвода питателей в отливку. Напор зависит от способа заливки, типа литниковой системы, положения отливки в форме и других факторов. Для определения напора при заливке через литниковую чашу необходимо

учитывать уровень металла в чаше, а при заливке через воронку — уровень металла в ковше [33].

Для случая подвода металла по разьему, очень распространенного в литейном производстве, H можно рассчитать по формуле:

$$H = H_0 - P^2/2C,$$

где: H_0 — первоначальный максимальный напор, см;

P — расстояние от самой верхней точки отливки до уровня подвода, см;

C — высота отливки (по положению при заливке), см.

При заливке металла из поворотного ковша часть формы, расположенная ниже уровня подвода металла, заполняется при постоянном напоре H_0 , а часть формы, расположенная выше уровня подвода металла, при переменном напоре, изменяющемся от H_0 до $H_0 - P$. Поэтому в формулу вводят средний напор.

При повышении металлостатического напора создаются благоприятные условия по снижению образования газовых раковин в отливках, улучшенному заполнению полости формы, особенно в удаленных от места подвода металла частях отливки, и т.д. Однако при этом возникает опасность повышения пригара, размыва литейной формы, образования корольков и т.д.

Поэтому при определении металлостатического напора необходимо в первую очередь обращать внимание на склонность отливки к возникновению того или иного дефекта.

Для предупреждения механического проникновения газов в отливку необходимо повышать напор металла, увеличивая высоту верхних опок, литниковых чаш, выпоров и прибылей.

На рисунках 1.2.9а, б представлена отливка «Задвижка печи» с газовой, светлой раковиной. Отливка имеет высоту 8 см и высоту металлостатического напора 15 см. При увеличении напора металла до 25 см и контроля за влажностью смеси подобные газовые раковины не возобновились.

§ 9. Вентиляция формы и стержня

При заливке металлом начинается интенсивная газификация горючих составляющих формы и стержня. В форме и стержне создается избыточное давление газа, который должен выходить через выпора, наколы на верхней полуформе и газоотводы из стержней и формы. Задача газоотводящих каналов состоит в том, чтобы они обеспечили снижение давления газа в форме. При таких условиях давление металлостатического напора будет больше суммарного давления газов от стержня и формы, и газ не пойдет в металл [34].

Вентиляционные каналы для удаления из стержней и форм газов, выделяющихся в процессе заливки, должны выполняться в стержнях с таким расчетом, чтобы образующиеся газы удалялись не через рабочую полость литейной формы, а через торцы знаков. Более подробная информация о вентиляции литейной формы приведена в разделах: *Длина пути фильтрации газа* (1.4. §1) и *Направленность потока заливаемого металла* (1.4. §2).

Вентиляция стержней осуществляется следующими способами:

- 1) установкой душников (или железных прутьев) с последующим их удалением из стержней, выполнением вентиляционных каналов при изготовлении стержней по половинкам;
- 2) накалыванием стержней душником, сверлением отверстий в знаках по оси стержня;
- 3) установкой трубных каркасов с отверстиями;
- 4) изготовлением стержней с внутренней полостью, заполненной опорным материалом (крупнозернистым) или не заполненной;
- 5) изготовлением стержней оболочковыми [20, 41].

Повышение скорости отвода и снижение давления газа достигаются уменьшением длины пути фильтрации газов [14]. Для этого необходимо уменьшить расстояние от отливки до стенок и лада опок, предусматривать не заливаемые металлом вентиляционные каналы в форме и стержне. Особенно это важно для форм, уплотняемых при повышенном удельном давлении. На рисунке 1.2.10 представлена литейная форма в сборе. В заливаемой форме стержень и две полуформы выполнены без вентиляционных каналов. В процессе заливки наблюдается повышенное давление газа в стержне с образованием газовых раковин в отливке.

Для получения отливок без газовых раковин необходимо выполнить расчет вентиляционной системы в форме и стержне. Далее рассчитать газовое давление, возникающее в них после заливки металла (расчет газового давления литейной формы целесообразно проводить в автоматизированной системе «Оптимизация газового режима литейной формы», разработанной авторами [13,14], информацию о которой можно получить по e-mail: castling@cad.vstu.ru) и убедиться в отсутствии возможности образования газовых раковин в отливке.

На рисунке 1.2.11 представлена форма в сборе с выполненными вентиляционными каналами, имитацией заливки металла, изменением давления газа и выхода его в вентиляционные каналы. Изменяя длину пути фильтрации газа, газопроницаемость и газотворность смеси, площадь поверхности вентиляционных каналов и др., можно в значительной степени снизить газовое давление в форме до уровня безопасного.

В процессе проведения расчетов устанавливаются оптимальные значения вентиляционных каналов и наколов, газопроницаемость стержней и формы и т.д. Используя полученные оптимальные параметры, определяется оптимальное давление образующегося газа в форме и стержне. В результате резко снижается газовое давление в форме и стержне, позволяющее получить отливки без газовых раковин.

Для улучшения вентиляции стержня необходимо:

- 1) увеличить количество газоотводящих каналов в стержне, обращая внимание на снижение длины пути фильтрации газа;
- 2) прочистить вентиляционные каналы от краски;
- 3) вентиляционные каналы большого диаметра закрыть пористой пробкой;
- 4) проверить, связаны ли вентиляционные каналы с атмосферой;
- 5) вентиляционные каналы следует выводить через менее нагретые места стержня и формы;
- 6) подтверждением хорошей вентиляции является горение факелов на выходе вентиляционных каналов. Давление газа на границе металл-стержень (форма) при этом должно быть не более 780 н/м^2 (критическое давление газа равно $1000...1200 \text{ н/м}^2$);
- 7) выпоры в верхней полуформе необходимо сообщать с атмосферой накачиванием;
- 8) при консольном стержне подвод металла выполнять в конец консоли (см. 1.4. §1).

Вентиляционные каналы в стержнях, склеиваемых из двух половинок, выполняются прорезкой на плоскости разъема в одной половине стержня. При массовом производстве стержней каналы в них делают при помощи специальных плит, в которых укреплены неподвижные вентиляционные штыри и каналы, как показано на рисунках (см. 1.2.12, 1.2.13) [52].

В стержнях сложной конфигурации при единичном изготовлении вентиляционные каналы получают, укладывая при помощи формовочного инструмента в стержень восковые фитили, которые выплавляются при сушке или заформовывают витую стальную стружку и жгуты из соломы [1].

Вентиляция массивных стержней осуществляется устройством вентиляционных колодцев или укладкой труб, а также заполнением сердцевины стержня коксовой мелочью или гарью.

В ряде случаев при изготовлении стержней в нагреваемой или холодной оснастке вентиляционные каналы выполняются сверлением (опыт ряда иностранных и российских фирм).

На рисунке 1.2.14 представлена отливка «Корпус вентиля» со светлой газовой раковиной, размером 9 мм, овальной формы, расположенной в верхней части фланца. Причиной возникновения раковины послужило отсутствие вентиляционных каналов в стержне и наличие повышенной влажности формовочной смеси. После выполнения сквозного вентиляционного отверстия по основной оси стержня с выходом в атмосферу и снижения содержания влаги в смеси, газовые раковины в отливке не появлялись.

§ 10. Простановка горячих стержней в холодную форму или холодных стержней в горячую форму

Установка холодных стержней в горячую форму

При установке стержней в горячую форму возникает конденсация влаги на холодной поверхности стержня. При соприкосновении жидкого чугуна с незначительной влажной поверхностью стержня вода разлагается и выделяется атомарный водород, адсорбирующийся на поверхности металла. При последующем охлаждении металла водород переходит в молекулярную форму, группируясь в поверхностном слое отливки. Из-за большой вязкости металла водород не может выделиться и образует газовые раковины незначительных размеров. При увеличении содержания конденсата возникают более крупные раковины. Следовательно, необходимо категорически запретить использование горячей и теплой формовочной смеси при приготовлении форм (см. 1.1. §10).

§ 11. Разное, или Советы бывалого (см. 1.1. §11)

На рисунке 1.2.15 представлена отливка «Фланец», имеющая гладкую, светлую раковину. Дефект образовался из-за увеличенного конденсата влаги на поверхности горячего стержня. Вблизи от крупной раковины заметны более мелкие раковины аналогичной природы возникновения. При использовании в процессе изготовления отливок холодных стержней подобные дефекты не появлялись.



Рис. 1.2.2. Отливка «Фланец» с газовой раковиной, совместно с «утяжиной»



Рис. 1.2.3. Отливка «Корпус» с газовой раковиной («вскип»)



Рис. 1.2.4. Фрагмент отливки «Маховик вентиля» со светлой газовой раковинной

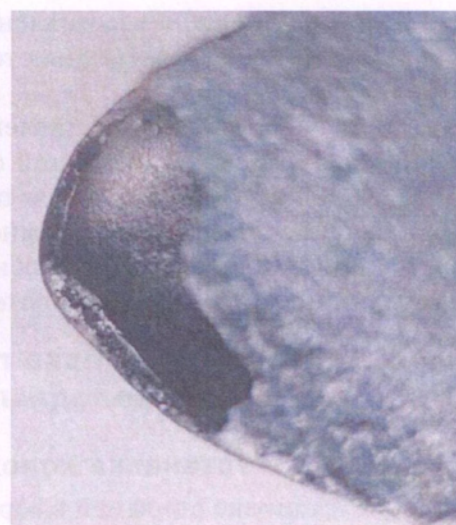


Рис. 1.2.5. Фрагмент отливки «Маховичок» с газовой раковинной (увеличено)



Рис. 1.2.6. Отливка «Колесо насоса» с газовой раковинной



Рис. 1.2.7. Фрагмент отливки «Корпус» с газовой раковинной светлого вида



Рис. 1.2.8. Отливка «Корпус вентиля»



Рис. 1.2.9а
Отливка «Задвижка печи» со светлой газовой раковинной



Рис. 1.2.9б
Фрагмент отливки с дефектом (увеличено)

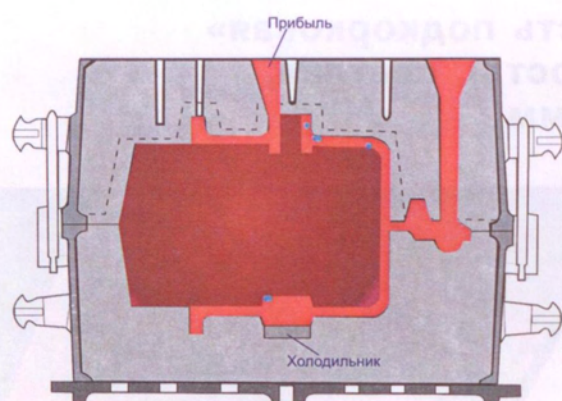


Рис. 1.2.10. Литейная форма в сборе без выполненной системы вентиляции форм и стержне

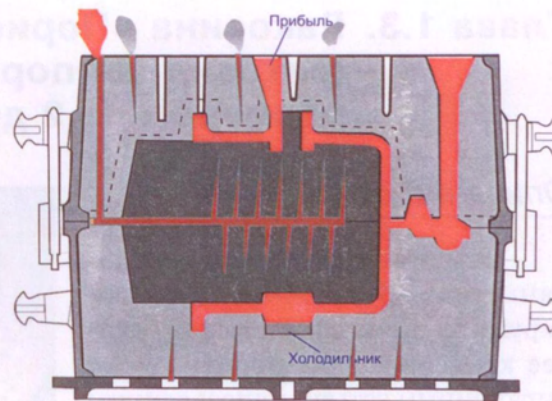


Рис. 1.2.11. Литейная форма в сборе с выполненными вентиляционными каналами

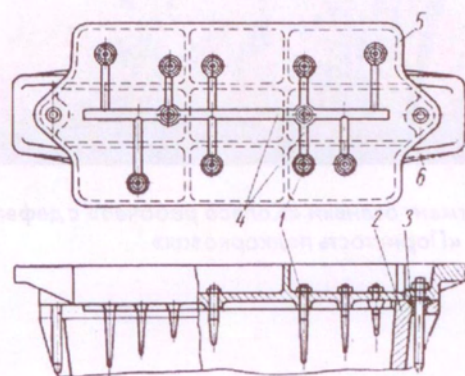


Рис. 1.2.12. Плита с вентиляционными иглами:
1 – вентиляционные иглы; 2 – стержневой ящик;
3 – направляющая втулка со штырем;
4 – вентиляционные каналы;
5 – вентиляционная плита; 6 – ушко

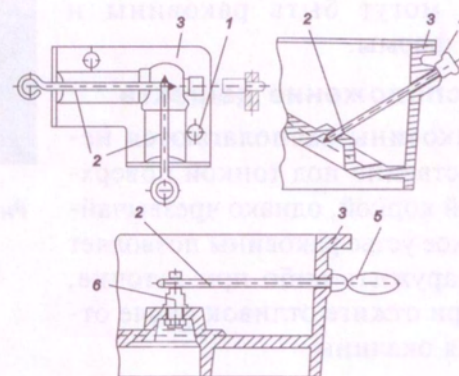


Рис. 1.2.13. Схема установки вентиляционных прутков в металлических стержневых ящиках:
1 – штырь; 2 – вентиляционный пруток;
3 – стержневой ящик; 4 – гайка;
5 – ручка; 6 – подставка



Рис. 1.2.14. Отливка «Корпус вентиля» со светлой газовой раковиной

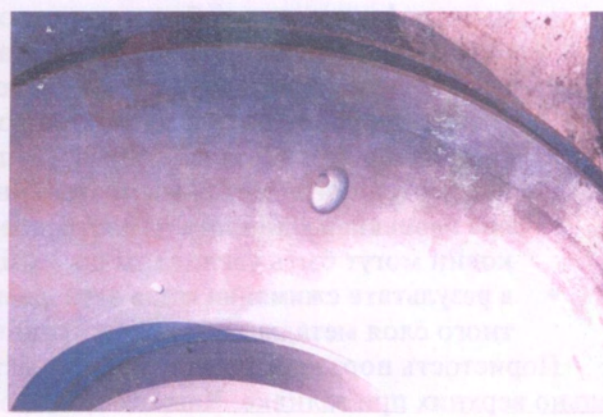


Рис. 1.2.15
Фрагмент отливки «Фланец»

Глава 1.3. Раковина «Пористость подкорковая» (ситовидная пористость), светлая, размером от 2 до 5 мм

Описание дефекта

Поверхностные сотовые раковины типа «булавочных наколов» округлой, но не сферической, скорее каплеобразной формы с ярко выраженным устьем, направленным к поверхности отливки [28]. Диаметр их около 2 мм, а длина достигает 5 мм. Иногда, рядом с булавочными, могут быть раковины и другой формы.

Расположение дефекта

Раковины располагаются непосредственно под тонкой поверхностной коркой, однако чрезвычайно тонкое устье раковины позволяет их обнаружить либо при заточке, либо при отжиге отливок после отслоения окарины.



Рис. 1.3.1. Фрагмент отливки «Колесо рабочее» с дефектом «Пористость подкорковая»

Формирование раковин

Механизм образования рассматриваемых раковин окончательно не установлен, однако на основании опубликованных источников можно изложить некоторые причины образования этого дефекта.

Описанный дефект может возникнуть в результате следующих причин:

- **наличие зародышевых пузырьков СО**, образованных в результате присутствия в чугунах относительно легко восстанавливаемых окислов, главным образом пленкообразных. Они возникают при реакциях магния с кислородом в чугунах с шаровидным графитом, при избирательном окислении поверхностных слоев, а также при окислении поверхности расплава графитом;
- **при контакте сырых форм с чугуном**, содержащим 0,01–0,1 алюминия или 0,01–0,05 титана, из паров воды выделяется водород, который проникает в поверхностные слои отливок и в полость образовавшихся газовых зародышевых раковин, где его концентрация может быть постепенно увеличена;
- **при проникновении азота** из азотосодержащих связующих или добавок размеры раковин могут быть увеличены до 3 мм;
- **в результате сжатия газов** затвердевшим чугуном возникает прорыв поверхностного слоя металла, образуется типичный «булавочный укол».

Пористость поражает не отдельные участки, а целые поверхности отливок, не обязательно верхних при заливке. Чаще всего такого типа раковины имеют неокисленную блестящую поверхность, благодаря чему они очень отчетливо выделяются на изломах дефектных отливок.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Содержание водорода и азота в металле

Повышенное содержание водорода и азота в металле способствует появлению газовых раковин — ситовидной пористости. Для ликвидации этого необходимо:

- 1) не применять ржавый лом. Одна тонна шихты с 1% ржавчины содержит 2,5 кг водорода. При плавке водород выделяется в атомарном состоянии и активно растворяется в металле;
- 2) не рекомендуется использовать литейный чугун, имеющий пористый излом. Источником образования газа могут быть и ферросплавы. Ферросплавы необходимо высушивать перед введением их в печь;
- 3) применять вакуумную плавку, что позволит удалить до 70% растворенного водорода или продуть чугун в течение нескольких минут сухим инертным газом, например, азотом или аргоном;
- 4) в расплаве снизить содержание алюминия, титана, магния и марганца, которые способствуют повышению концентрации водорода в жидком чугуне.

Более подробную информацию можно увидеть в 1.1. §2.

§2. Влажность стержня или формовочной смеси

Избыток влаги в форме или стержне неизбежно приведет к появлению раковин гладких, светлых и блестящих, рассредоточенных по поверхности контакта стержня или формы с поверхностью металла. Раковины могут иметь сферическую или близкую к ней форму.

Для снижения возможности образования рассредоточенных газовых раковин рекомендуется:

- 1) снизить содержание влаги до уровня 4%;
- 2) использовать подсушку форм после окраски;
- 3) увеличить вентиляцию формы;
- 4) уменьшить скорость заливки формы;
- 5) увеличить зернистость песка для улучшения газопроницаемости формы;
- 6) исключить попадание воды в готовую форму (дождь, неисправность трубопроводов и др.).

Подкорковая пористость, представленная на фрагменте отливки (рис. 1.3.2), вызвана избытком влаги в формовочной смеси с одновременной пониженной газопроницаемостью.

§3. Насыщение металла газом при плавке и заливке

Газы могут растворяться в жидком сплаве или давать с ним химические соединения. При охлаждении менее газонасыщенного сплава предел растворимости наступает тогда, когда кристаллизация подходит к концу. Газовые пузырьки в этом случае становятся мелкими, едва видимыми простым глазом, и образуют почти губчатую массу. Этот дефект литого металла называют газовой пористостью, или рыхлостью металла газового происхождения. Газовая пористость резко понижает механические свойства отливок, является причиной частых внезапных поломок деталей машин, способствует образованию течей и др. (см. 1.1. §6).

На рисунке 1.3.3 представлена отливка «Корпус подшипника», пораженная подкорковой газовой пористостью. Металл был раскислен алюминием, остаточное содержание которого в чугуне составляло 0,042%.

§4. Температура заливаемого металла

Одной из важных причин возникновения дефекта является заливка в формы остывшего металла.

Холодный металл и его низкая текучесть могут указывать на наличие окиси железа или захват окисей из огнеупоров, наличие не выделившегося растворенного водорода и т.д. Нагрев металла до высокой температуры способствует диффузии растворенных газов в поток пузырьков, поднимающихся к поверхности. В первую очередь диффундирует водород, затем остальные газы по порядку своей диффузионной способности. Небольшая выдержка нагретого металла в ковше способствует завершению диффузионных процессов.

Для снижения возможности образования газовых раковин рекомендуемая температура заливаемого чугуна 1360–1390°C. Перед заливкой металл необходимо выдержать в ковше для всплытия пузырьков газа.

Для снижения возможности образования газовых раковин для стального литья рекомендуется повышение температуры на 20–25 градусов от рекомендуемой [35].

При повышении температуры уменьшается опасность образования объемных газовых раковин и увеличивается опасность образования поверхностных раковин. Наибольшей опасности подвергаются места с напряженными тепловыми потоками, как, например, во внутренних узлах отливок. Наименее подвержены образованию поверхностных раковин тонкостенные места отливки. Для удаления газовых пузырей из жидкого металла наиболее эффективно повышение температуры заливаемого металла. Во-первых, уменьшается его вязкость, а время до образования корки увеличивается. Во-вторых, увеличение температуры металла в этом интервале незначительно увеличивает скорость газообразования и повышение давления газа в форме.

Таким образом, при повышенной температуре заливки чугуна увеличивается время, в течение которого возможно удаление пузырей газа из отливки. С другой стороны, при повышении температуры заливки возможно увеличение количества усадочных или других дефектов [19]. Поэтому для отливок каждого типа температуру заливки следует устанавливать с учетом всех факторов, влияющих на качество литья (см. 1.2. §7).

Часто дефект возникает по металлургическим причинам, в частности загрязненным скрапом, используемым в шихте и содержащим более 0,035% алюминия. Образованию пористости способствует пониженная температура заливки, что в большинстве случаев является основной причиной.

На рисунке 1.3.4 представлены образцы для механических испытаний. Две первые заготовки отлиты с добавлением в разливочный ковш FeTi с целью повысить марочные свойства чугуна, две следующие отлиты без FeTi. Введение добавки FeTi ликвидировало действие остаточного алюминия.

§5. Простановка горячих стержней в холодную форму или холодных стержней в горячую форму

Установка холодных стержней в горячую форму

При установке стержней в горячую форму возникает конденсация влаги на холодной поверхности стержня. При соприкосновении жидкого чугуна с влажной поверхностью стержня вода разлагается и выделяется атомарный водород, адсорбирующийся на поверхности металла. При последующем охлаждении металла водород переходит в молекулярную форму, группируясь в поверхностном слое отливки. Из-за большой вязкости металла водород не может выделиться и образует газовые раковины. Рекомендации по снижению вредного влияния горячей формы см. 1.2. §10.

Установка горячих стержней в холодную форму

Контроль процесса отверждения стержней и степени достигнутого испарения влаги имеет большое значение. Недосушенные стержни не только приводят к явному литейному браку (обвалам, местным вскипам, неспаям, раковинам, подутиям и др.), но могут вызвать скрытые пороки, обнаруживаемые при обработке.

Опасным является простановка горячих стержней в холодную форму (см. 1.2. §10).

На рисунке 1.3.5 представлена отливка «Корпус», пораженная со стороны стержня газовыми ситовидными раковинами. Дефект вызван простановкой холодного стержня в горячую форму.

§6. Азотистые соединения в составе формовочных и стержневых смесей

Азотистые соединения в составе формовочных и стержневых смесей склонны к разложению при контакте с металлом и насыщению его газами. Рекомендации по ликвидации этого явления изложены в 1.1. §5.

§7. Подготовка разливочных ковшей

Для разливки стали по формам обычно применяют стопорные ковши, позволяющие полностью исключить попадание шлака в формы. При разливке марганцевой стали, а также для разливки небольших порций применяют чайниковые ковши, имеющие перегородку для задержания шлака (см. 1.1. §9).

§8. Влияние водорода на ситовидную пористость

Из-за присутствия водорода в металле возможно образование ситовидной пористости. Для образования газового пузыря необходим зародыш, в который будет проникать молекулярный водород и увеличивать пузырь до значительных размеров. Одновременно водород может реагировать с FeO с образованием мелких раковин. Для того, чтобы эта реакция не могла произойти, даже при повышенном содержании водорода, необходимо, чтобы FeO в стали было менее 0,0001%.

Иногда этот дефект поражает целые плавки. Полученные раковины вскрываются при снятии зубилом небольшой стружки с поверхности отливки. Для предупреждения ситовидной пористости необходимо снизить содержание H_2 и FeO в стали. Низкое содержание FeO достигается правильным ведением плавки и дополнительным раскислением стали алюминием. Часто при одинаковых формах и одинаковых условиях плавки обнаруживается, что все отливки данной плавки поражены такими раковинами. Это происходит потому, что алюминий неаккуратно вводится в сталь, он сгорает наверху ковша и получается не раскисленная алюминием сталь.

Источниками водорода в стали могут быть:

- 1) сырая, ржавая или покрытая маслом шихта;
- 2) влага воздуха, необходимого для горения топлива;
- 3) водород и влага топлива, мазута с высоким содержанием воды;
- 4) влажные флюсующие материалы и руда;
- 5) атмосфера печи, в особенности при длительном пребывании металла в печи после раскисления;
- 6) влажные или содержащие большое количество водорода легирующие материалы (катодная медь, электролитический никель и др.).

Удаление водорода при плавке стали происходит в процессе кипения с поднимающимися

пузырьками окиси углерода, в которые водород диффундирует из окружающего металла. Активное кипение в течение окислительного периода является полезным. Насыщение стали водородом может происходить при слабом кипении ванны, а также при выпуске и разливке, если не предусмотреть хорошую просушку желоба и ковша; ферросилиций в ковш для раскисления стали следует вводить в прокаленном виде.

§9. Разное, или Советы бывалого

1. В результате плохого перемешивания в формовочной смеси могут остаться комья глины с повышенной влажностью. В результате контакта с металлом возникнут газовые раковины, причём они могут быть беспорядочно разбросаны (см. 1.1. §11).
2. При плавке стали большое внимание уделяется вопросам дегазации. Однако при заливке большие поверхности металла соприкасаются с газотворными стержнями и формой. В результате, особенно при сырой формовке или при малопроницаемой форме на органических связующих, происходит значительное насыщение металла газами, приводящее иногда к ситовидной газовой пористости. Опыт показал, что происходит резкое повышение содержания газов в металле при переходе от керамической формы к сухой, а затем к сырой. Следовательно, затраты сил и средств на дегазацию металла во время плавки становятся малоэффективными, вследствие высокой газотворной способности форм и стержней.



Рис. 1.3.2. Фрагмент отливки «Корпус» с подкорковой пористостью

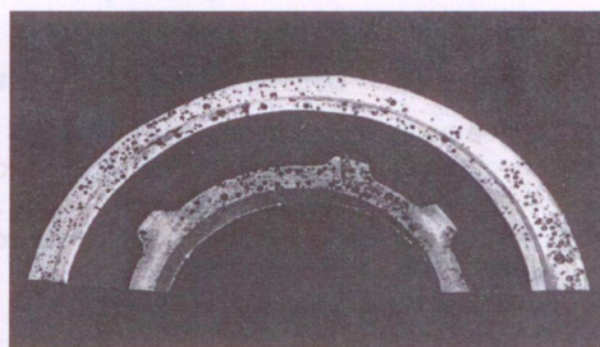


Рис. 1.3.3. Отливка «Корпус подшипника» с подкорковой пористостью



Рис. 1.3.4. Образцы для механических испытаний

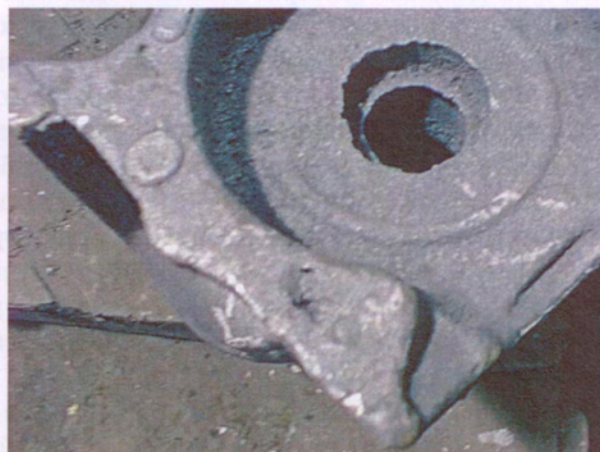


Рис. 1.3.5. Отливка «Корпус»

Глава 1.4. Раковина окисленная, внутренняя или поверхностная, сферической формы, более 2–3 мм

Описание дефекта

Внутренние полости раковин преимущественно сферической формы с гладкими стенками. Размеры их обычно бывают более 2 или 3 мм. Цвет поверхности раковин идентичен, благодаря наличию толстой окисной пленки, цвету поверхности с недоливом. Образование газовых раковин обусловлено нарушением направленности газового потока из формы или стержня в атмосферу, минуя отливку.

Дефект располагается в разных частях отливки и может иметь неодинаковую форму.

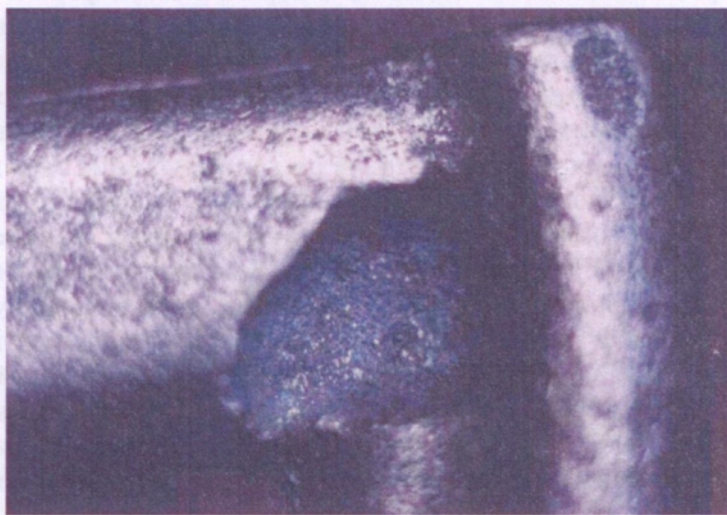


Рис. 1.4.1. Дефект отливки, «Раковина окисленная», внутренняя или поверхностная, сферической формы, более 2–3 мм

Формирование раковин

Описанный дефект может возникнуть в результате следующих причин:

- местного переуплотнения смеси, тем более опасного, чем ближе оно расположено к поверхности раздела форма-отливка;
- местного сопротивления в виде постороннего газонепроницаемого включения;
- местного источника газа;
- недостаточным газоотводом через знаки стержня или поверхности формы.

При заливке формы металлом начинает интенсивно прогреваться поверхность формы и стержня, создавая при этом мощный газовый поток, выходящий по разьему формы в выпора, наколы в форме, газоотводы.

После заполнения формы металлом в форме и стержне создается давление газов, выделяющихся от выгорания газотворных составляющих смесей. Если давление в форме или стержне будет больше, чем суммарное давление металлостатического напора и сопротивление проходу газов из формы или стержня в металл, то газ из формы или стержня пойдет в металл, где образуется газовая раковина.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Направленность потока заливаемого металла

Газовые раковины могут появиться в случае неправильного подвода металла к отливке, в результате чего возникает противоток требуемому движению газа. На рисунке 1.4.2а представлен подвод металла в отливку, примерно на уровне середины консольного стержня с одним выходом газа в одну сторону. В этом случае интенсивно разогревается сере-

дина консольного стержня и газ стремится в противоположные его стороны от места разогрева, т.е. создается противоток. Опасной зоной является конец консоли, где образуются газовые пузыри, всплывающие в верхнюю часть конуса. При подводе металла в конец консольного стержня (рисунок 1.4.2б) создается направленный поток газа, который выходит через вентиляционный канал в верхней части формы [15].

На рисунке 1.4.3 представлен фрагмент отливки «Опора» с окисленной газовой раковиной овальной формы, размером около 8 мм. Рядом имеются раковины меньших размеров. Питатели отливки были направлены против движения газа из стержня, что создало повышенное давление газа в стержне и он нашёл выход через металл. После изменения направления подвода металла по ходу движения газа дефект отливки не повторялся.

На появление газовых раковин может влиять и положение отливки в форме [30]. На рисунке 1.4.4а положение отливки вызывает появление газовых раковин в верхней ее части. По схеме на рисунке 1.4.4б отливка получена без газовых дефектов, но в этом случае усложняется ее изготовление. Однако отливку на рисунке 1.4.4а можно получить без газовой раковины, если по оси стержня выполнить вентиляционный канал диаметром 10–15 мм, соединить его с атмосферой через верхний и нижний знак стержня, как показано на рисунке 1.4.4в. При этом газопроницаемость стержневой смеси должна быть не менее 100 ед., газотворная способность не более 12 см³/г смеси и в большом знаке стержня выполнены вентиляционные наколы душком диаметром 4–7 мм.

При разработке технологии важно первоначально, до изготовления модельной оснастки, определить возможность получения отливки без газовых раковин. Для этого надо определить опасные места с точки зрения скопления выделяемого газа. На рисунке 1.4.5 представлена схема изготовления отливки, где опасной зоной является область, отмеченная О-О. Здесь стержни с двух сторон не имеют знаков для выхода газа. Именно в эти места подведен металл для создания одностороннего направления движения образующегося газа. Для снижения газового давления в стержне по его оси выполнен вентиляционный канал диаметром 15 мм.

На рисунке 1.4.6 представлена модель отливки «Запорная арматура» (массой 85 кг) с боковыми и центральной прибылью для подпитки усадочных раковин. Стержень отливки изготавливается по холодной оснастке с продувкой газообразным катализатором. Вентиляционные отверстия в стержне отсутствуют. При заливке данной формы металлом стержень испытывает большую тепловую нагрузку как в центральной части, так и в области стержневых знаков из-за тепла от увеличенных боковых прибылей. Таким образом, создается противодействие газов. С одной стороны, газ из центральной части стержня движется в сторону стержневых знаков, а с другой стороны, под воздействием тепла от прибылей на стержневые знаки поток газа движется навстречу потоку, идущему от центра. В результате в стержне значительно увеличивается давление газа, и он вынужден проникать в металл через тепловой узел над центральной прибылью. Создавшееся давление газа можно ликвидировать выполнением сплошного вентиляционного канала в стержне с выводом газа в атмосферу.

§2. Длина пути фильтрации газа

Важным фактором для снижения возможности образования газовых раковин является уменьшение давления газа в форме в процессе заполнения ее металлом [34]. Одним из направлений снижения давления газа можно считать уменьшение длины пути фильтрации газа L [35] (см. рисунок 1.4.7). На рисунке 1.4.7а–д представлены эскизы стержней, имеющих различную длину пути фильтрации газа и различное построение вентиляционных каналов. Эффективность удаления газа возрастает от рисунка «а» к рисунку «д» [10, 15].

При уменьшении L газовое давление в форме и стержне может уменьшиться в десятки и даже сотни раз. По значимости, влияние L на снижение давления газа превалирует над газопроницаемостью, газотворностью и рядом других технологических параметров [14].

На рисунке 1.4.8 представлена отливка «Крышка» с окисленными газовыми раковинами овальной формы. При заливке металла и заполнении верхней части формы создается повышенное давление газа в центральной, овальной части отливки. В результате газ должен уходить в нижнюю часть формы, что препятствует свободной фильтрации газа и это способствует образованию газовых раковин.

Для ликвидации дефекта можно воспользоваться следующими схемами заливки:

- 1) залить крышку дефектным местом вниз. Движение газа будет по направлению подъема металла (вверх), и он свободно выйдет через вентиляционные отверстия;
- 2) при невозможности изменения положения отливки в форме следует сделать вентиляцию в центральной части формы с выводом вентиляционных каналов в нижнюю полуформу. При этом центральные каналы не должны заливаться металлом и должны свободно сообщаться с атмосферой. Максимальная длина пути фильтрации газа должна быть не более 5–8 см (см. рисунок 1.4.7).

§3. Металлостатическое давление

Под металлостатическим напором (H) жидкого металла понимают давление столба металла, равное высоте от уровня металла в чаше до места подвода питателей в отливку. Напор зависит от способа заливки, типа литниковой системы, положения отливки в форме и других факторов. Для определения напора при заливке через литниковую чашу необходимо учитывать уровень металла в чаше, а при заливке через воронку — уровень металла в ковше (см. 1.2. §8).

Для предупреждения возникновения окисленных газовых раковин необходимо проанализировать возможные причины их образования:

- выделение газа из стержня или формы. Если на оси стержня есть вентиляционный канал и максимальная длина пути фильтрации газа не превышает 5 см, можно не тревожиться за выход газа из стержня. Если максимальная длина пути фильтрации из формы более 10 мм, есть основание перейти к следующим причинам;
- недостаточное металлостатическое давление. В этом случае следует выполнить расчет литниковой системы при увеличенной высоте стояка;
- захват воздуха заливаемым металлом. Если литниковая система рассчитана, выполнена правильно и заливщик аккуратно произвел заполнение формы, воздух не должен попасть в отливку.

На рисунке 1.4.9а и (увеличено) на рисунке 1.4.9б представлена отливка «Коллектор» с окисленной газовой раковиной, в которой из-за наличия фосфора выделился фосфидный выпот. При увеличении давления заливаемого металла дефект отливки не возникал.

§4. Газотворность стержня и формовочной смеси

Газотворность стержня

Для снижения газотворности рекомендуется:

- 1) установить оптимальный состав стержневой смеси с газотворностью не более 10 см^3 на грамм смеси. Высокие требования к газотворности вызваны сложностью удаления газа из стержней в процессе заливки. Однако созданием хороших незаливаемых металлом газоотводов из стержня через знаки в атмосферу можно компенсировать повышенную газотворность стержней;

- 2) смесь должна содержать минимальное количество газотворных материалов (воды, органических связующих, противопригарных добавок, глины и др.);
- 3) стержни в форму необходимо ставить полностью остывшими (с температурой не более 35 градусов);
- 4) формы необходимо заливать сразу после сборки. Выдержка стержней более 30 минут приводит к насыщению их влагой и повышенному газовыделению;
- 5) крупные стержни, массой более 20 кг, изготовленные по горячей и холодной оснастке, после изготовления необходимо подсушивать в сушиле;
- 6) контролировать газотворность стержней, изготовленных в ночное время, так как возможно излишнее введение связующего для получения большой прочности стержней. Такие приемы используются при повышенном браке стержней по слому, ошибочно объясняемым недостатком связующего;
- 7) проверить длительность хранения стержней перед использованием. Во влажное время года хранение стержней рекомендуется не более трех суток;
- 8) проверить стержни на остаточную влажность после отвердевания. Наличие неотвердевшей смеси в центральной части стержня не допускается.

Газотворность формовочной смеси

Для снижения газотворности рекомендуется:

- 1) формовочная смесь должна содержать минимальное количество газотворных материалов — воды, органических связующих, противопригарных добавок, глины и др. Наиболее газотворна вода, поэтому содержание ее в смеси должно быть ограничено;
- 2) установить оптимальный состав формовочной смеси с газотворностью не более 16–18 см³/г смеси;
- 3) в нижней части полуформы не должно наблюдаться скопления (затеков) противопригарной краски, содержащей газотворные составляющие;
- 4) исключить местное насыщение формы противадгезионными покрытиями (керосин и др.), наносимыми в избытке на модельные плиты.
На рисунке 1.4.10 представлен фрагмент отливки «Поворотный рычаг» с окисленной газовой раковиной. В составе формовочной смеси для снижения пригара присутствовал мазут, являющийся газотворной составляющей. Одновременно отсутствовали вентиляционные наколы на верхней полуформе и твердость формы составляла 85 ед. Это явилось провокацией для возникновения газовых раковин. После снижения твердости до 75 ед. и выполнения наколов на верхней полуформе дефект не повторялся;
- 5) исключить использование горячей формовочной смеси;
- 6) радикальным способом снижения газовыделения является подсушка, высушивание или прокаливание форм. При этом почти полностью удаляется вода, частично удаляются летучие продукты из составляющих смеси.

§5. Газопроницаемость стержня и формовочной смеси

Газопроницаемость стержня

Для улучшения удаления образующихся газов из стержней их газопроницаемость должна быть на достаточно высоком уровне. Стержни, отверждаемые в оснастке, должны иметь газопроницаемость не менее 130 ед., а отверждаемые в тепловых сушилах не менее 100 ед. Рекомендации по повышению газопроницаемости стержня изложены в 1.1. §3.

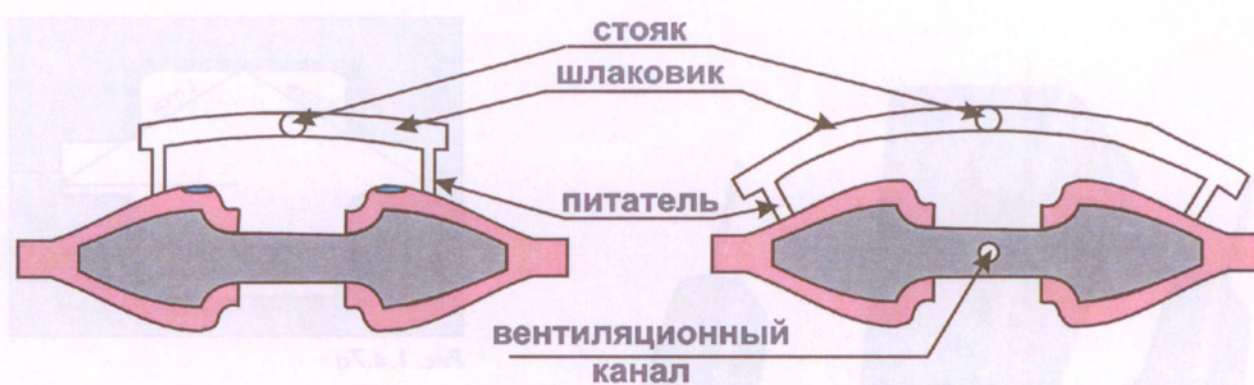


Рис. 1.4.2. Подвод металла в отливку



Рис. 1.4.3. Фрагмент отливки «Опора»
с окисленными газовыми раковинами

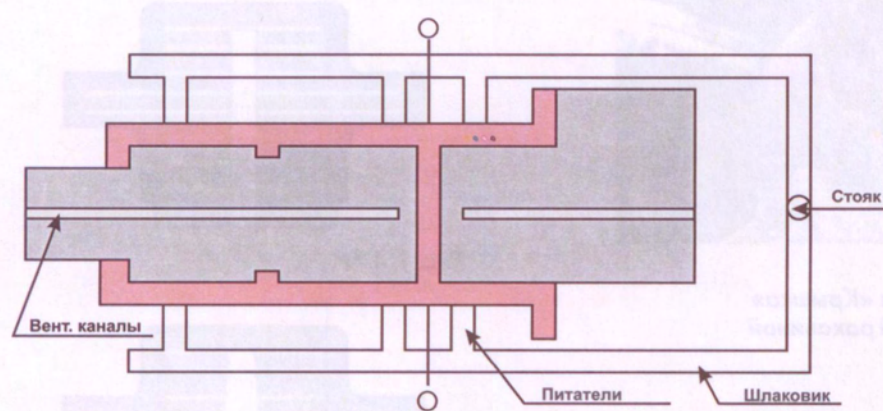


Рис. 1.4.5. Схема изготовления отливки

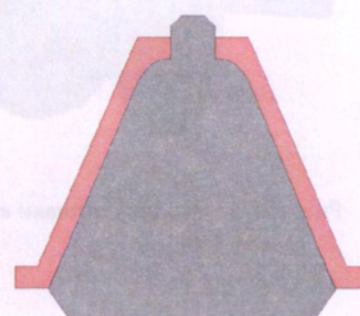


Рис. 1.4.4а

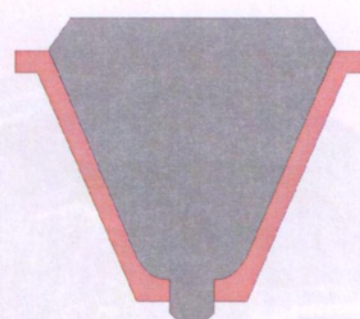


Рис. 1.4.4б

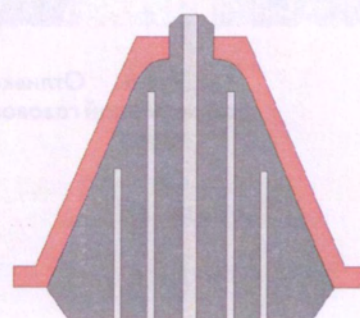


Рис. 1.4.4в

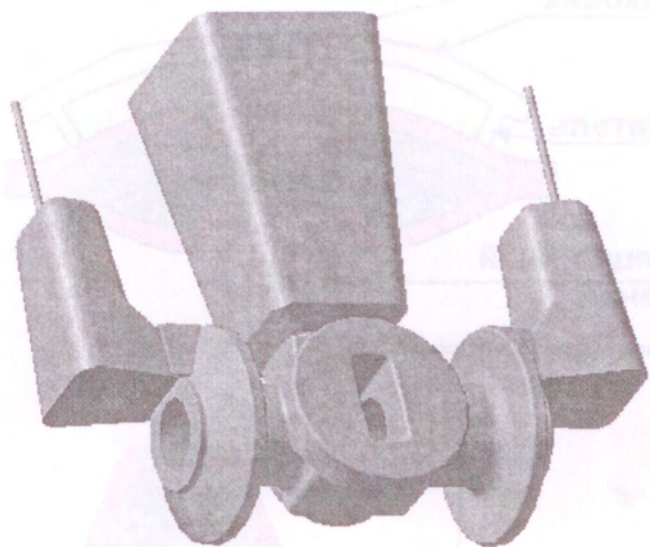


Рис. 1.4.6. Модель отливки «Запорная арматура»

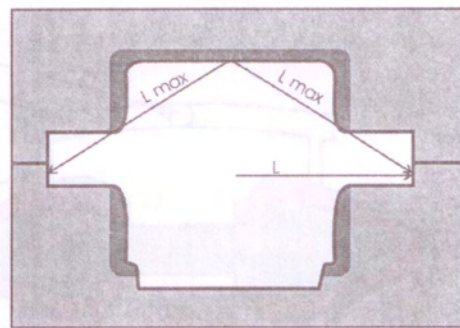


Рис. 1.4.7а

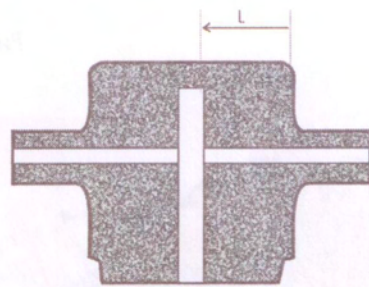


Рис. 1.4.7б

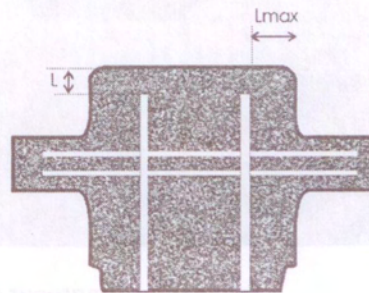


Рис. 1.4.7в

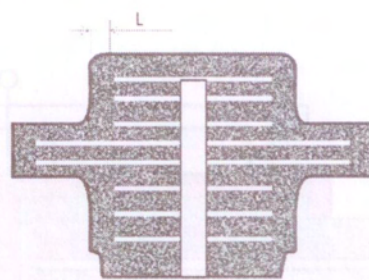


Рис. 1.4.7г

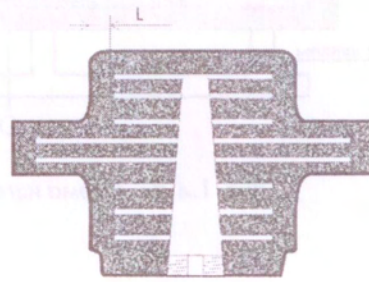


Рис. 1.4.7д

Рис. 1.4.8. Отливка «Крышка»
с окисленной газовой раковинной

Газопроницаемость формы

При контакте залитого металла с формой возникает горение или испарение составляющих смесей, в результате чего возникает давление газа в порах смеси. Газопроницаемость и плотность набивки смеси оказывают влияние на давление газа в форме.

На рисунке 1.4.11а [25] сравнивается давление в нижней части открытой формы на расстоянии 8–10 мм от поверхности отливки в условиях плотной набивки и повышенной влажности (газопроницаемость 28 ед., твердости формы 80–85 ед., влажность 6,8%) – кривая 1 и обычной плотности и влажности (газопроницаемость 38 ед., твердость 74–80 ед., влажность 4,3%) – кривая 2. В первом случае давление поднялось свыше 3000 Н/м²; очевидно, на поверхности формы оно было еще больше, в металле наблюдалось кипение и отливка имела газовые раковины. Во втором случае раковины в отливке отсутствовали.

На рисунке 1.4.11б сравнивается давление на расстоянии 10 мм от поверхности (кривая 1) и в канале, открытом в полость формы (кривая 2). Обе кривые регистрируют повышенное давление газа.

На рисунке 1.4.11в представлена кривая изменения давления газа на расстоянии 25 мм от поверхности стальной отливки толщиной 100 мм в условиях закрытой формы без прибылей и выпоров.

На рисунке 1.4.11г сравнивается давление в верхней половине формы в переуплотненной и недоувлажненной части (кривая 1) и в нормально набитой части (кривая 2). В обоих случаях наблюдается незначительное повышение давления, обеспечивающее получение качественных отливок.

Представленные кривые показывают, что в связи с изменением газопроницаемости (плотность набивки, влажность и др.) давление газа в поверхностном слое формы может составлять 500–3500 Н/м².

Рекомендуемое давление газа в форме или стержне не должно быть более 780 Н/м².

На рисунке 1.4.12 представлена отливка «Маховичок» с дефектом газовая раковина окисленная и фосфидным «выпотом». В результате сильного уплотнения формовочной смеси газопроницаемость формы снизилась до 40 ед. Отсутствие вентиляционных наколов привело отливку к образованию раковины. Повышение газопроницаемости формы до 70 ед. с выполнением наколов способствовало ликвидации дефекта.

§6. Вентиляционные наколы

Вентиляционные наколы в форме значительно сокращают длину пути фильтрации газа и дают возможность снижения его давления. В первоначальный момент заполнения формы металлом возникает обильное выделение газа от стержней и формы. Если давление газа превысит 780 Н/м² (8 г/см²) [34], то может возникнуть реальная опасность образования газовых раковин в отливке (см. 1.1. §4).

На рисунке 1.4.13 представлена отливка «Корпус шестерни» с открытой газовой раковиной в верхней части. Отсутствие вентиляционных наколов при повышенной газотворной способности смеси (более 20 см³/г смеси) способствовало возникновению дефекта. Выполнение требуемых вентиляционных наколов на поверхности формы и снижение газотворности смеси до 14 см³/г смеси способствовало ликвидации дефекта.

На рисунке 1.4.14 представлена отливка «Гиря» с открытой газовой раковиной в верхней части. Как и в предыдущем случае (рис. 1.4.13), отсутствие вентиляционных наколов при повышенной газотворной способности смеси способствовало возникновению дефекта. Выполнение требуемых вентиляционных наколов на поверхности формы и снижение газотворности смеси до 14 см³/г смеси способствовало ликвидации дефекта.

§7. Вентиляция формы и стержня

При заливке металла начинается интенсивная газификация горючих составляющих формы и стержня. В форме и стержне создается избыточное давление газа, который должен выходить через выпора, наколы на верхней полуформе и газоотводы из стержней и формы. Задача газоотводящих каналов состоит в том, чтобы они обеспечили снижение давления газа в форме. При таких условиях давление металлостатического напора будет больше суммарного давления газов от стержня и формы, и газ не пойдет в металл (см. 1.2. §9).

Вентиляция стержней играет решающую роль в ликвидации газовых раковин. На рисунке 1.4.15 представлена отливка «Корпус раздаточный», в которой со стороны стержня имеется газовая раковина цвета недоливки отливки, сферической формы, размером 7 мм по наибольшему измерению. Дефект образовался в результате отсутствия вентиляционного канала в стержне. После выполнения операций, приведенных в тексте к рисунку 1.2.11, дефект не возникал. Понижение давления газа в стержне осуществилось за счет уменьшения максимальной длины пути фильтрации газа.

§8. Захват воздуха

Для исключения захвата воздуха струей заливаемого металла рекомендуется:

- 1) понизить высоту падения струи металла при заливке форм;
- 2) струя металла должна быть правильной формы — круглая. Разбрызгиваемая, неправильной формы струя металла увлекает большое количество воздуха;
- 3) литниковая чаша, по возможности, должна быть большего размера для всплывания захваченных пузырей воздуха;
- 4) исключить возможность образования вихревого закручивания металла в литниковой чаше или воронке, что появляется при низком уровне металла во время заливки;
- 5) исключить острые углы стояков и питателей, создающих условия сужения струи металла и подсоса воздуха из формы, особенно при увеличенном диаметре стояка;
- 6) выполнить шлаковик увеличенной протяженности и достаточной высоты;
- 7) уменьшить скорость заливки металла;
- 8) повысить газопроницаемость верхней полуформы: увеличить фракцию песка до 04, понизить плотность набивки, увеличить количество наколов в местах образования газовых раковин, уменьшить толщину наносимого противопригарного покрытия.

На рисунке 1.4.16 представлена увеличенная часть отливки «Гильза» с окисленной газовой раковиной. При заливке формы с большей высоты турбулентный поток металла захватил воздух, вовлек его в литниковую систему и далее в отливку. Газовый пузырь поднялся в верхнюю часть отливки и задержался в термическом узле. Здесь в газовую раковину выдавился фосфидный выпот — расплав легкоплавкой эвтектики. При соблюдении режима заливки газовые раковины в этой отливке значительно снизились.

§9. Заливка форм металлом

Время заливки стали

Время заливки зависит от размеров и особенностей конструкции отливки, литейных свойств определённой стали, теплоаккумулирующих свойств материала формы и др. Для

получения тонкостенных отливок, имеющих развитую поверхность стенок, требуется уменьшение времени заливки, чтобы не допустить образования недоливов и спаев. При изготовлении же отливок, склонных к образованию подкорковых газовых пузырей, требуется увеличение времени заливки для свободного удаления газа из полости формы.

Продолжительность заливки определяется по следующей формуле [7]:

$$\tau = S^3 \sqrt{\delta_0 G}, \text{ в секундах,}$$

где: s — коэффициент времени, зависящий от технологической сложности отливки, её массы, расчётной толщины стенок отливки и типа стали;

δ_0 — расчётная толщина стенок отливки, зависящая от её конструкции, протяжённости плоских поверхностей, высоты отливки и др. (определяется по таблице 1.4.1);

G — масса жидкой стали, кг, расходуемая на заливку форм, равная

$$G = G_0 + G_{\eta} + \Delta G_{\eta},$$

где: G_0 — масса отливки, кг; G_{η} — масса жидкой стали, расходуемой на литниковую систему, кг; ΔG_{η} — масса жидкой стали, расходуемой на заполнение прибылей до уровня ΔH_{η} , кг.

Пример: для отливок массой 500–1000 кг в формах из жидкостекольных смесей s имеем следующие значения:

Толщина стенок отливки, мм	15	25	40	50	60
Коэффициент s	1,3	1,2	1,1	1,05	1,0

Для отливок, склонных к образованию внутренних напряжений, трещин и усадочных раковин, коэффициент s желательно увеличить на 0,1–0,2. Отливки, изготавливаемые в металлических или песчаных формах с большим числом холодильников, следует заливать быстрее и значение s для них уменьшить на 0,1–0,2.

Найденное время рекомендуется проверять соотношением:

$$v = \frac{H}{\tau},$$

где: v — скорость подъёма расплава в форме, см/с;

H — высота отливки по положению при заливке, см.

При толщине стенок 7–10 мм скорость подъёма v должна быть не менее 20 мм/с; при 10–40 мм $v > 10$ мм/с; при толщине более 40 мм — > 8 мм/с.

Если v окажется недостаточным, то нужно уменьшить время заливки или же изменить положение отливки в форме.

Таблица 1.4.1. Пример определения расчетной толщины стенки δ_0

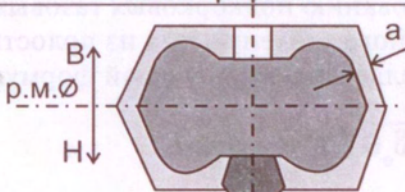
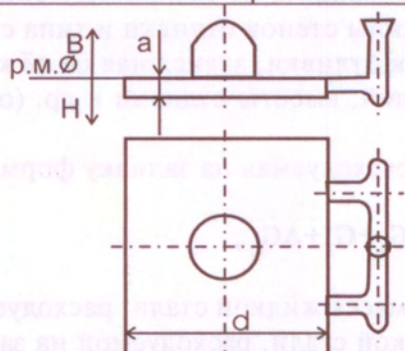
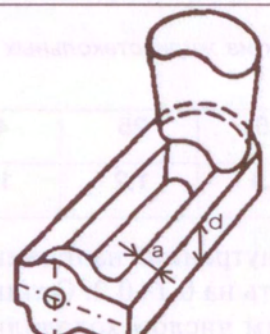
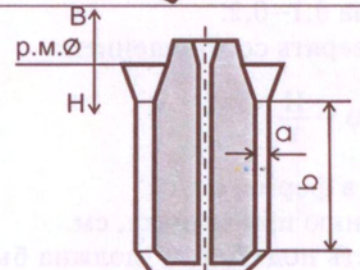
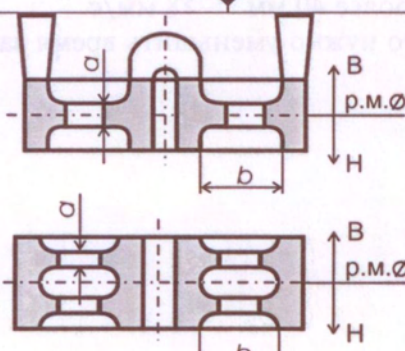
Отливки	Схема формы	δ_0
Равносторонние с развитой поверхностью стенок		$\delta_0 = a$
Типа плит		$\delta_0 = a$ при $b/a \leq 2$
Типа балки, бруса, бандажа		$\delta_0 = (a+b)/4$ при $b/a \geq 4$
Типа втулок и цилиндров		$\delta_0 = a$ при $b/a > 4$ $\delta_0 = 0,75 a$ при $b/a = 2 \div 4$ $\delta_0 = (a+b)/4$ при $b/a < 2$
Типа зубчатых колес		При подводе питателей: 1) только в ступицу или обод – $\delta_0 = a$ при отношении $b:a \geq 8$, $\delta_0 = 1,25 a$ при отношении $b:a < 8$ 2) в обод и ступицу – $\delta_0 = 1,25 a$ при отношении $b:a \geq 8$; $\delta_0 = 1,5 a$ при отношении $b:a < 8$;



Рис. 1.4.9а. Отливка «Коллектор» с окисленной газовой раковиной

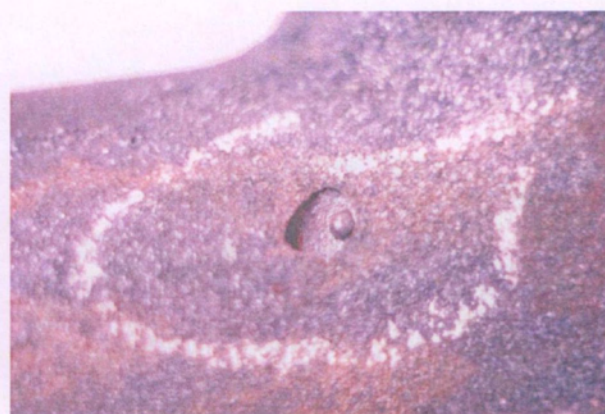


Рис. 1.4.9б. Дефект отливки «Коллектор» (увеличено)

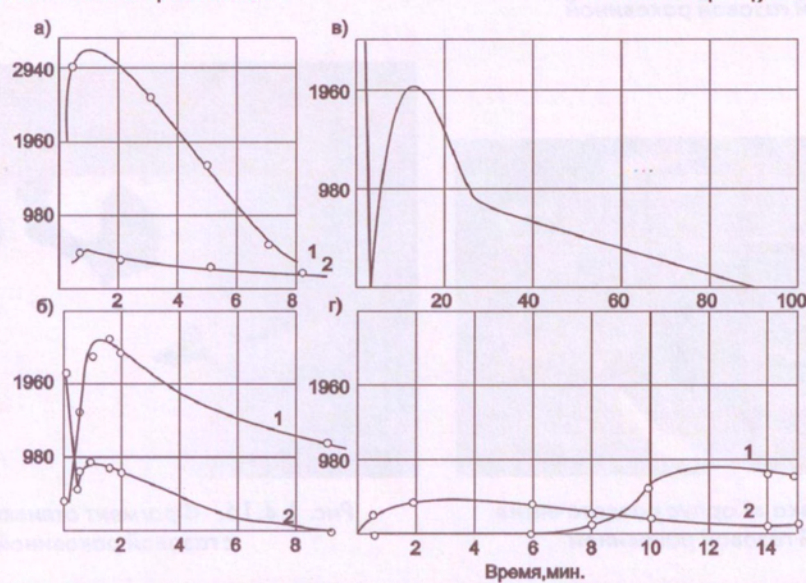


Рис. 1.4.11. Давление в порах стенок формы: а – чугунная отливка, открытая форма: 1 – 10 мм от поверхности, плотная набивка, высокая влажность; 2 – тоже слабая набивка, низкая влажность; б – чугунная отливка, закрытая форма: 1 – 10 мм от поверхности; 2 – открытый вентиляционный канал; в – стальная отливка, закрытая форма 25 мм от поверхности; г – чугунная отливка, закрытая форма: 1 – плотно набитая с низкой влажностью; 2 – слабо набитая форма



Рис. 1.4.10. Отливка «Поворотный рычаг» с окисленной газовой раковиной

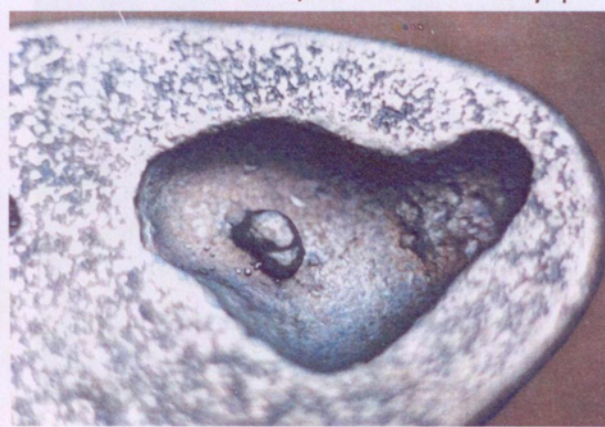


Рис. 1.4.12. Отливка «Маховичок» с окисленной газовой раковиной



Рис. 1.4.13. Отливка «Корпус шестерни»
с окисленной газовой раковинной



Рис. 1.4.14. Отливка «Гиря»



Рис. 1.4.15. Отливка «Корпус раздаточный»
с окисленной газовой раковинной

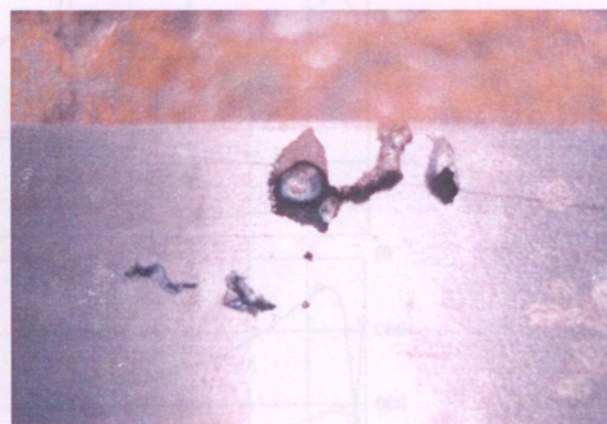


Рис. 1.4.16. Фрагмент отливки «Гильза»
с газовой раковинной

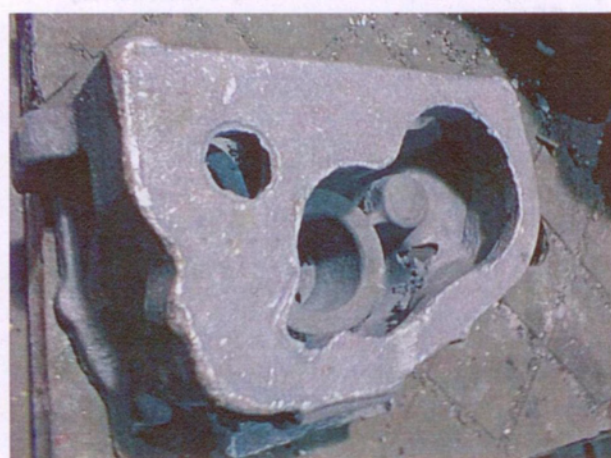


Рис. 1.4.17. Корпусная отливка
с окисленной газовой раковинной



Рис. 1.4.18. Отливка «Опора»
с газовой раковинной

Скорость заливки чугуна

Для получения качественного литья очень важными являются температура заливаемого чугуна и весовая скорость заливки. Это продиктовано конструкцией отливок и технологией их изготовления. Если учесть, что одни отливки подвержены газовым раковинам, другие — усадочным, третьи — трещинам, четвертые — комбинации из перечисленных и т.д., то становится очевидным индивидуальный подход по температуре и скорости заливки металла. Например, для ликвидации раковин газовых окисленных требуется повышенная температура чугуна и пониженная скорость заливки, а для ликвидации газоусадочных раковин — пониженная температура и повышенная скорость заливки (в среднем на 10–15% от расчетной).

При расчете литниковой системы необходимо правильно определить начальные параметры расчета и учитывать следующие требования:

- форма должна заполняться металлом за оптимальное время с определенной скоростью;
- сечения литниковой системы должны обеспечивать поступление жидкого металла в самые удаленные от заливки участки формы с сохранением требуемой жидкотекучести чугуна;
- при расчетной продолжительности заливки скорость металла, вытекающего из питателей, должна быть небольшой для сохранения формы от перегрева и размыва;
- расчетные формулы должны учитывать конструктивную и технологическую особенности отливки, её склонность к конкретной дефектности.

Высокая скорость заливки способствует возникновению газовых раковин. На рисунках 1.4.17 и 1.4.18 представлены отливки с газовой раковиной синего цвета. Повышенная скорость заливки, неудовлетворительная вентиляция и недостаточная температура заливаемого металла привели к возникновению дефекта.

§10. Сифонный способ заливки

Сифонная заливка стали применяется в ряде случаев для средних и крупных отливок (от 100 кг и выше) при значительной толщине стенок развитой поверхности, сравнительно невысоких. Такой способ заливки создаёт следующие преимущества [49]:

- минимальные условия размыва формы и образования засоров;
- получение качественной поверхности в нижних частях отливок;
- направленный выход воздуха и газа через верхнюю часть формы.

Для улучшения выхода газа в верхней части формы следует выполнить открытые (в ряде случаев карандашные) выпоры и прибыли. Через карандашные выпоры проходит воздух, но металл в них не проникает, так как сечения выпоров малы и жидкотекучесть стали при проходе по ним близка к нулю [1].

Для формирования направленного затвердевания отливки рекомендуется подача первых порций стали сифоном, а последующих под затопленный уровень.

§11. Разное, или Советы бывалого

1. **Заделка дефектов стержней и форм ремонтным составом.** Ремонтный состав содержит вещества (лигносульфонат, декстрин, жидкое стекло, вода и др.), обладающие повышенной газотворностью и гигроскопичностью. В связи с этим ремонту подвергаются забоины площадью до 4 см² и глубиной до 1 см. Отремонтированная часть стержня должна быть просушена на всю глубину.
2. **Раковины по линии разъёма.** Возникновение таких раковин является результатом

скопления газа между верхней и нижней полуформой и затруднённое удаление газа через линию разъёма. Это возникает :

- при расположении утолщённой части отливки вблизи разделительной линии;
- в случае изготовления в одной опоке увеличенного количества отливок с вентиляцией одних через другие.

Рассмотренная проблема решается выполнением наколов на поверхности формы для улучшения вентиляции.

3. **Близкое расположение элементов литниковой системы, стенок или шпон опоки к поверхности отливки.** Если указанные элементы находятся слишком близко к поверхности формы, то вентиляция формы в этом месте будет недостаточной и возникнет возможность образования газовых раковин.
4. **Переуплотнение отдельных мест формы.** При чрезмерном переуплотнении формы возникают плотные участки с затруднённой фильтрацией газа. В основном это бывает над выступающими местами моделей, где в связи с затруднённой фильтрацией возникают газовые раковины. Нанесение на поверхности формы наколов, не достигающих до отливки на 1 см, решит проблему возникновения раковин.
5. **Посторонние материалы.** Наличие в формовочной смеси шпилек, окалин, гвоздей, брызг металла, комьев глины, шлаковых, кокса и др. создает возможность образования газовых раковин. Перед изготовлением смеси песок просеивается, а изготовленная смесь должна подвергаться магнитной сепарации.
6. **Некоторые предложения по отливке головки блока цилиндров.** При подходе к ликвидации газовых раковин зачастую начинают борьбу не с причиной, а со следствием образования газовых раковин, т.е. стремятся вывести газовые пузыри из расплавленного металла. Примером этого могут служить безуспешные приёмы вывода газа из отливок головок блока цилиндров, в частности, установкой щелевых выпоров, изменением температуры заливаемого металла и времени заливки, мест подвода металла и т.д. В действительности надо бороться с причиной возникновения — не допускать проникновения газа из ленточных стержней в расплав металла. Действенным является реальное обеспечение вывода газа через знаковые части стержня, не заливаемые металлом. При этом знаковые части должны сообщаться с атмосферой сплошным вентиляционным отверстием. Этим значительно понижается газовое давление в стержне, поскольку резко уменьшается длина пути фильтрации газа. Оставшееся давление газа в стержне не в состоянии преодолеть поверхностное натяжение металла в форме. Моделирование условий понижения давления газа можно произвести на автоматизированной системе «Моделирование газового режима литейной формы» [13], которая позволит в короткий срок решить проблему ликвидации газовых раковин [14].

Глава 1.5. Раковина сферической формы, поверхность с цветами побежалости

Описание дефекта

Внутренние полости преимущественно сферической формы с гладкими блестящими стенками, отдельные или расположенные небольшими группами. Размеры их бывают обычно больше 2 или 3 мм и в разных отливках неодинаковы. Цвет поверхности раковин резко отличается от светлых и от окисленных наличием радужной, очень тонкой пленки окислов, чаще всего розовато-фиолетовой. Дефект представлен внутренними полостями, отдельными или небольшими группами [28].

Формирование раковин

Описанный дефект может возникнуть в результате следующих причин:

- взаимодействие частиц шлака с металлом в форме, в результате чего выделяются газы;
- реакции окисления в ванне плавильной печи жидкого металла вызывает появление жидких или твердых окисей, а затем, в результате их восстановления углеродом, газовых пузырей;
- реакции жидкого металла и его окислов с огнеупорными материалами плавильных печей, ковшей или материалами формы;
- недостаточно эффективное удержание шлаков в литниковой системе;
- повышенное содержание элементов, имеющих высокое сродство к кислороду: таких, как титан, алюминий, кальций, содержащихся в модификаторах.



Рис. 1.5.1. Отливка «Фланец» с раковиной сферической формы, поверхность раковины имеет цвета побежалости

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Газотворность стержня и формовочной смеси

Повышенная газотворность формы приводит к возникновению газовых раковин. Для снижения этой опасности рекомендуется:

Стержневая смесь

Необходимо установить оптимальный состав стержневой смеси с газотворностью не более 10 куб. см на грамм смеси (см. 1.4. §4).

Формовочная смесь

Формовочная смесь должна содержать минимальное количество газотворных материалов — воды, органических связующих, противопригарных добавок, глины и др.

Наиболее газотворна вода, поэтому содержание ее в смеси должно быть ограничено (см. 1.4. §4).

Формовочная смесь при изготовлении отливки «Фланец» (рисунок 1.5.1) имела повышенную газотворную способность. При механической обработке отливки были обнаружены раковины с цветами побежалости.

§2. Ремонтный состав стержней

В качестве информации о газотворности ремонтных составов стержней рекомендуется:

1. Ремонтные составы содержат вещества (лигносульфанат, декстрин, жидкое стекло, вода и др.), обладающие повышенной газотворностью и гигроскопичностью.
2. В связи с повышенной газотворностью ремонтного состава и неотверждения его при коротком цикле подсушки отремонтированных стержней, необходимо запретить ремонт стержней с дефектом, размеры которого превышают требования технологического процесса.
3. Рекомендуемый размер дефектов, подлежащих ремонту: площадь — до 4 см²; глубина — до 1 см.

Стержень фрагмента отливки «Лапа» (рис 1.5.2) имел забоину площадью 6 см² и глубиной 2 см. Для заделки забоины использовался ремонтный состав на основе лигносульфата, обладающего повышенной газотворностью. Локальное выделение газа поразило отливку раковинами, в том числе и с цветами побежалости.

§3. Заливка форм металлом

Время заливки стали

Время заливки зависит от размеров и особенностей конструкции отливки, литейных свойств определённой стали, теплоаккумулирующих свойств материала формы и др. Для получения тонкостенных отливок, имеющих развитую поверхность стенок, требуется уменьшение времени заливки, чтобы не допустить образование недоливов и спаев. При изготовлении же отливок, склонных к образованию подкорковых газовых пузырей, требуется увеличение времени заливки для свободного удаления газа из полости формы (см. 1.4. §9).

Скорость заливки чугуна

Для получения качественного литья очень важными являются температура заливаемого чугуна и весовая скорость заливки. Это продиктовано конструкцией отливок и технологией их изготовления. Если учесть, что одни отливки подвержены газовым раковинам, другие — усадочным, третьи — трещинам, четвертые — комбинации из перечисленных и т.д., то становится очевидным индивидуальный подход по температуре и скорости заливки металла (см. 1.4. §9).

§4. Газопроницаемость стержней и формовочной смеси

Газопроницаемость стержня

Для улучшения удаления образующихся газов из стержней их газопроницаемость должна быть на достаточно высоком уровне. Стержни, отверждаемые в оснастке, должны иметь газопроницаемость не менее 130 ед., а отверждаемые в тепловых сушилках — не менее 100 ед.

Рекомендации по повышению газопроницаемости стержня изложены в 1.1. §3.

Газопроницаемость формы

Снижение возможности образования газовых раковин может быть достигнуто повы-

шением газопроницаемости формовочной смеси до 80 ед. Компенсировать недостаточность газопроницаемости смеси можно за счет хороших вентиляционных каналов из стержней и увеличенным количеством наколов на форме верха (см. 1.1. §3).

§5. Насыщение металла газом при плавке и заливке

Сталь

К обычным печным газам, окружающим металл в процессе его расплавления, рафинирования или разливки, относятся азот, кислород, водяные пары, продукты горения — окись углерода, углекислый газ, сернистый газ и др. (см. 1.1. §6).

Чугун

1. При плавке чугуна в вагранке его окисление связано со следующими причинами:
 - большой расход воздуха при недостаточном количестве кокса;
 - зависание шихты при использовании крупных металлических отходов;
 - низко расположенные или сильно наклоненные фурмы;
 - применение мелкой и ржавой шихты, марганцевой руды, боя изложниц;
 - использование крупных и плотных стальных отходов, плавящихся в окислительной зоне вагранки.
2. При плавке чугуна в индукционной печи необходимо ограничить использование листовых стальных отходов.
3. Выдержка жидкого чугуна в тигле индукционной печи должна проводиться при температуре не менее 1350°C, поскольку в этом случае окисляющая способность меньше.
4. Необходимо исключить попадание в отливку шлаковых включений, содержащих закись железа и сульфид марганца.
5. Нельзя допускать разницу между содержанием кремния и марганца меньше 0,5%. С уменьшением содержания кремния раковины от окиси углерода увеличиваются. Экспериментальная отливка (рис. 1.5.3) была поражена газовой раковиной с поверхностью синевато-розового цвета и с фосфидным «выпотом», имеющим такой же цвет. Металл был сильно загрязнен окислами железа от окисленной чугунной стружки.
6. Для уменьшения окисления металла его зеркало следует засыпать древесным углем. Ковши должны быть очищены от шлака. Литниковая система должна быть спроектирована с хорошими шлакоуловителями (см. 1.1. §6).
Формовочная смесь отливки «Фланец» (рис. 1.5.4) имела примесь молотой окалины. Механическая обработка отливки вскрыла газовые раковины, в том числе и с цветами побежалости.

§6. Температура заливаемого металла

Одной из важных причин возникновения дефекта является заливка в формы остывшего металла.

Холодный металл и его низкая текучесть могут указывать на наличие окиси железа или захват окисей из огнеупоров, наличие невыделившегося растворенного водорода и т.д. Нагрев металла до высокой температуры способствует диффузии растворенных газов в поток пузырьков, поднимающихся к поверхности. В первую очередь диффундирует водород, затем остальные газы по порядку своей диффузионной способности. Небольшая выдержка нагретого металла в ковше способствует завершению диффузионных процессов.

Для снижения возможности образования газовых раковин рекомендуемая температура заливаемого чугуна 1360–1390°C. Перед заливкой металл необходимо выдержать в ковше для всплытия пузырьков газа.

Для снижения возможности образования газовых раковин в стальном литье рекомендуется повышение температуры стали на 10–15 градусов от принятой по заводскому регламенту.

При повышении температуры уменьшается опасность образования объемных газовых раковин и увеличивается опасность образования поверхностных раковин. Наибольшей опасности подвергаются места с напряженными тепловыми потоками, как, например, во внутренних узлах отливок. Наименее подвержены образованию поверхностных раковин тонкостенные места отливки. Для удаления газовых пузырей из жидкого металла наиболее эффективно повышение температуры заливаемого металла. Во-первых, уменьшается вязкость металла, а время до образования корки металла увеличивается. Во-вторых, увеличение температуры металла в этом интервале незначительно увеличивает скорость газообразования и повышение давления газа в форме. Таким образом, при повышенной температуре заливки металла увеличивается время, в течение которого возможно удаление пузырей газа из отливки. С другой стороны, при повышении температуры заливки возможно увеличение количества усадочных или других дефектов. Поэтому для отливок каждого типа температуру заливки следует устанавливать с учетом всех факторов, влияющих на качество литья.

§7. Вентиляция формы и стержня

При заливке металлом начинается интенсивная газификация горючих составляющих формы и стержня. В форме и стержне создается избыточное давление газа, который должен выходить через выпоры, наколы на верхней полуформе и газоотводы из стержней и формы. Задача газоотводящих каналов состоит в том, чтобы они обеспечили снижение давления газа в форме. При таких условиях давление металлостатического напора будет больше суммарного давления газов от стержня и формы и газ не пойдет в металл (см. 1.4. §9).

Более подробная информация о вентиляции литейной формы приведена в разделах «Длина пути фильтрации газа» и «Направленность потока заливаемого металла» в 1.4. §1 и §2.

§8. Разное, или Советы бывалого

1. При использовании формовочной смеси следует проводить тщательный контроль и удаление случайных посторонних предметов из её массы (окалина, кокс, брызги металла, комья глины, куски лигатуры и др.). Эти предметы могут вызвать появление газовых раковин при их контакте с заливаемым металлом.
2. При плохом перемешивании формовочной смеси возможно появление участков с повышенной газотворной способностью, хотя запись в журнале испытаний смеси может показывать нормальное состояние газотворности. Оператор должен строго соблюдать время перемешивания по часам. Изношенные или поднятые сверх нормы отвальные скребки смесителя, плохо вращающиеся или неподвижные давящие катки также отрицательно влияют на качество смеси.
3. Продолжительное кипение в печи металла удалит растворённые в нём газы вследствие диффузии их в поток пузырьков CO и CO_2 , поднимающихся к поверхности. Водород поднимается быстрее остальных, затем остальные газы в порядке своей скорости диффузии. Раскисление металла должно заканчиваться в ковше. Результатом неправильной дегазации стали может быть образование мелких газовых раковин.

4. Прерываемая заливка и заливка с большой высоты над формой способствуют введению в форму растворённых газов. Медленная заливка или заливка остывающего металла оказывают такое же влияние, как и прерывистая.

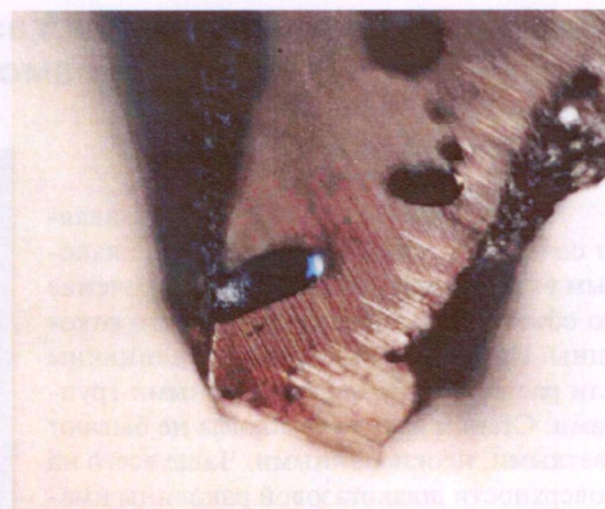


Рис. 1.5.2. Фрагмент отливки «Лапа» с газовой раковиной

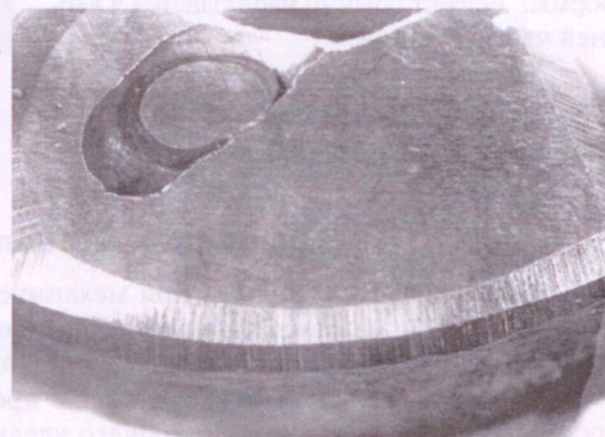


Рис. 1.5.3. Экспериментальная отливка с газовой раковиной

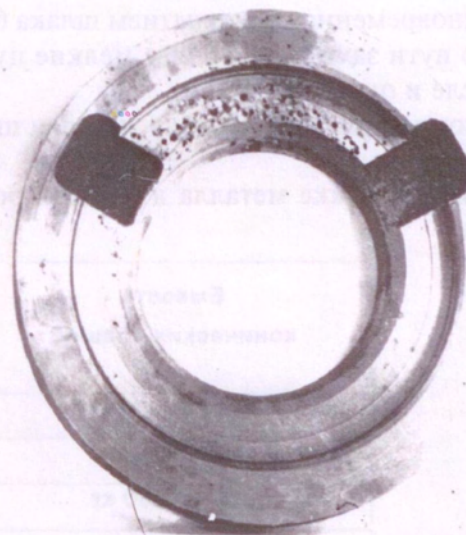


Рис. 1.5.4. Отливка «Фланец» с газовой раковиной

Глава 1.6. Раковина шлакогазовая, сферической формы, окисленная, возможен желтоватый налет

Описание дефекта

Чаще всего такой дефект представляет сочетание газовой раковины со шлаковым включением, где шлаковое включение по объему меньше окружающей его раковины. Подобного рода дефекты единичны или расположены неравномерными группами. Стенки раковин никогда не бывают светлыми, неоxygenными. Чаще всего на поверхности шлакогазовой раковины имеется желтоватый налет шлаковой пленки. Раковина может не иметь сферической формы. Дефект обычно наблюдается в верхней части отливки.



Рис. 1.6.1. Раковина шлакогазовая, сферической формы, окисленная, возможен желтоватый налет

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Выдержка металла для всплытия шлака

Шлак попадает в расплав при механическом перемешивании его в процессе плавки и при переливе из плавильного агрегата в ковш. Вместе со шлаком в металл попадают окислы, пузырьки растворенного газа, частицы оплавившейся кладки вагранки, печи и др.

В процессе выстоя металла в ковше происходит всплытие частиц шлака на поверхность металла вследствие их меньшего удельного веса. При этом чем будет выше температура металла и меньше вязкость шлака, тем интенсивней будет происходить процесс всплытия шлака.

Одновременно со всплытием шлака будут удаляться пузырьки растворенного в металле газа, по пути захватывая более мелкие пузырьки газа и частицы инородных включений, в том числе и окислов.

Скопившийся на зеркале металла шлак счищают скребком до полного удаления его с поверхности.

При выдержке металла в ковше происходит снижение его температуры следующим образом:

Емкость конических ковшей	Снижение температуры, °С в минуту	
	Чугун	Сталь
до 100 кг	20–30	30–60
250 – 400 кг	10–20	18–40
630 – 1000 кг	до 10	15–20
1 – 5 т	до 5	до 12–15

Конические ковши теряют температуру металла примерно в 2 раза быстрее, чем барабанные, за счет теплоизлучения с зеркала металла.

Для уменьшения тепловых потерь стали рекомендуется применять крышки с термоизоляцией, для чугуна — зеркало металла рекомендуется покрывать слоем кокса и применять крышки с термоизоляцией.

Шлакоулавливающие перегородки чайниковых ковшей приведены в 1.1. §9.

При взаимодействии попавшего в отливку шлака с формой возникли шлакогазовые раковины, в ряде случаев, с темной блестящей шлаковой пленкой. Дефект отливки (рисунок 1.6.2) устраняется выдержкой металла в ковше после сфероидизирующего модифицирования.

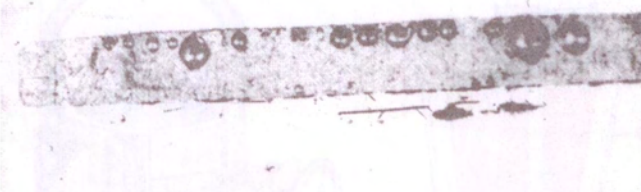


Рис. 1.6.2. Отливка «Гильза» со шлакогазовыми раковинами

§2. Разливочные ковши для удерживания шлака

Одной из основных функций ковшей является удержание шлака, который снимается с поверхности чугуна после заполнения ковша и перед заливкой металла в форму. При заливке чугуна из крупных ковшей шлак следует снимать и в процессе заливки. Для удержания и предотвращения попадания шлака из ковшей в форму в конических ковшах предусматриваются специальные перегородки [51], представленные на рисунке 1.6.3. Выполняются шлакоуловители в виде перегородки внутри корпуса ковшей, в носке (для крупных ковшей) или в виде сифонного канала. Изготавливаются они из шамотных кирпичей. Футерование носка крупных ковшей или перегородки мелких и средних ковшей производится составом на жидком стекле.

При заливке из ковша со шлакоотделителем последний должен быть заглублен в жидкий металл, препятствуя тем самым попаданию шлака в струю. В случае заливки из одного ковша нескольких форм ковш при переходе на следующие формы не поворачивается в исходное положение, а поворачивается настолько, чтобы исключить вытекание чугуна из носка. При наборе металла в ковши со шлакоотделителями струя металла не должна попадать на шлакоотделитель и создавать настывы на нем.

§3. Шлакоулавливающая литниковая система

Для изготовления мелких и средних отливок металл заливают обычно через носок ковша, поэтому велика опасность попадания шлака в отливку (рисунок 1.6.4б). На рисунке 1.6.4а представлена заливка металла в литниковую чашу, где струя металла попадает вначале в полость М, в результате чего снижается напор металла и создаются условия для частичного отделения шлаковых включений [51].

На практике применяют системы, которые обеспечивают лучшее улавливание шлака. С этой целью устанавливают литниковые чаши с перегородками, различного рода фильтрующие и шлакоулавливающие устройства.

Для того чтобы частицы шлака не попали в отливку, они должны иметь возможность всплыть на поверхность и остаться в шлакоуловителе. При изготовлении средних по массе и крупных отливок литниковые чаши часто выполняют в отдельных надставках, как показано на рисунке 1.6.5. При закрытой пробке чашу наполняют металлом, шлак всплывает на поверхность металла и после поднятия пробки чистый металл заполняет форму.

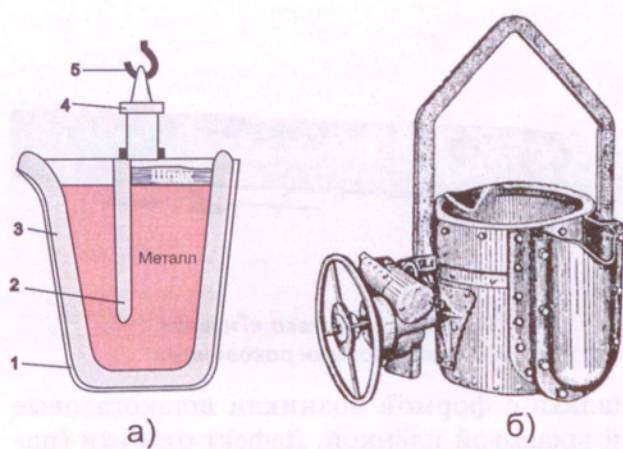


Рис. 1.6.3. Чайниковый ковш:

- 1 – кожух ковшика; 2 – огнеупорная перегородка, задерживающая шлак при заливке;
3 – огнеупорная футеровка; 4 – подвеска ковшика;
5 – крюк подъемного крана

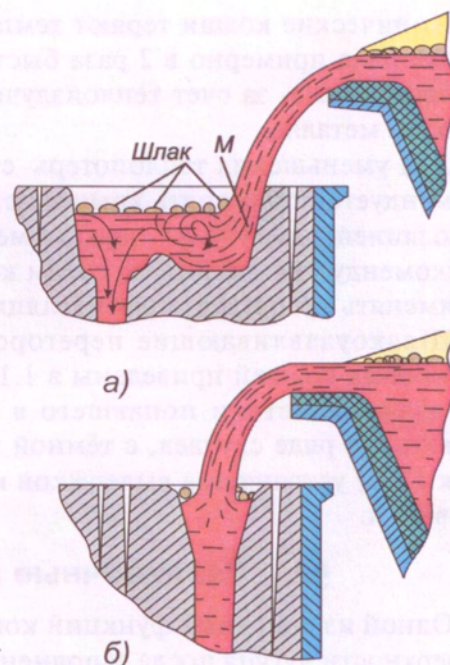


Рис. 1.6.4. Заливка металла в литниковую чашу

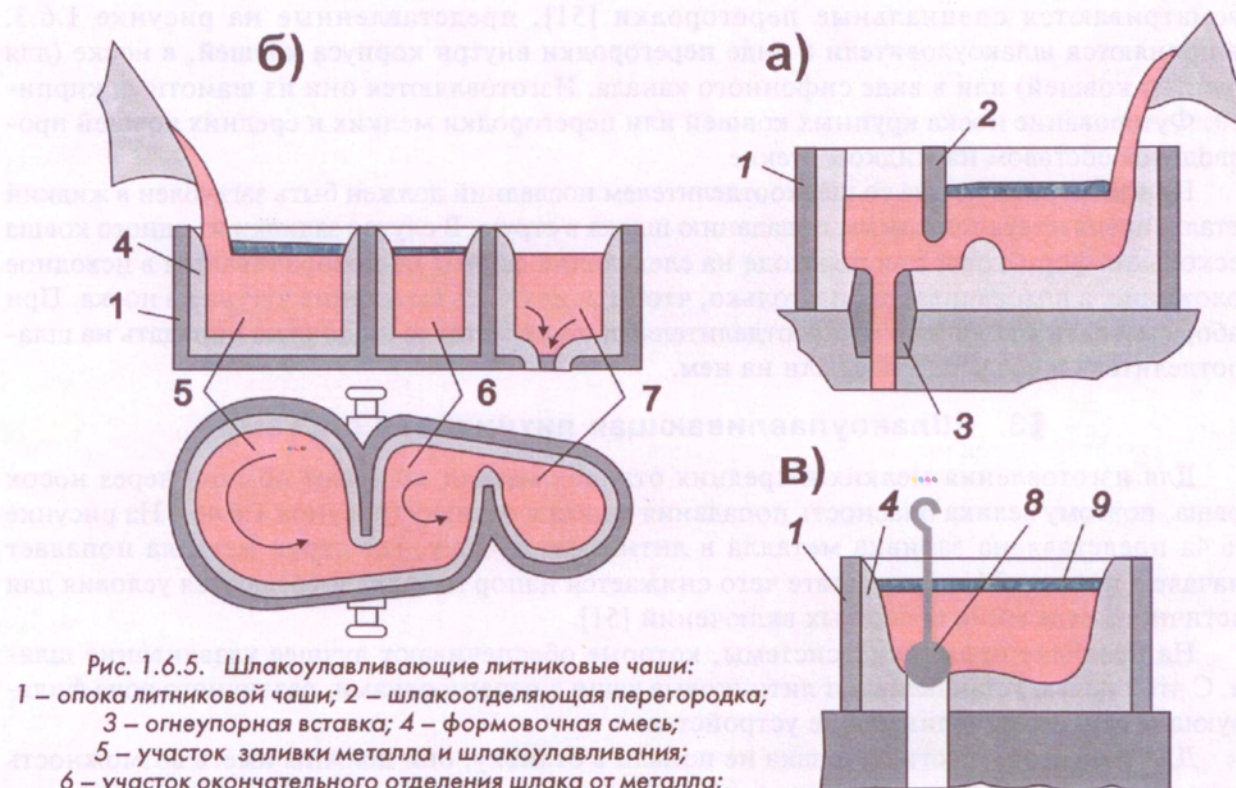
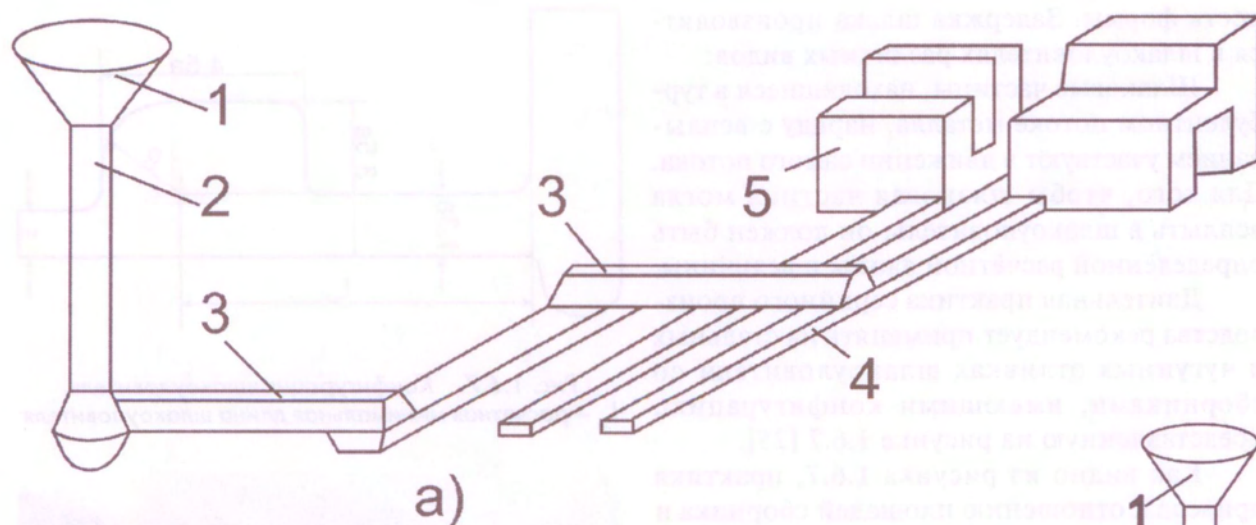


Рис. 1.6.5. Шлакоулавливающие литниковые чаши:

- 1 – опока литниковой чаши; 2 – шлакоотделяющая перегородка;
3 – огнеупорная вставка; 4 – формовочная смесь;
5 – участок заливки металла и шлакоулавливания;
6 – участок окончательного отделения шлака от металла;
7 – участок заливки металла в форму; 8 – пробка для задержки поступления металла в форму; 9 – шлак на поверхности металла;

а) имеет перегородку, обеспечивающую лучшее задержание шлака; чаша на рисунке б) обеспечивает лучшее всплытие и задержание шлака приданием расплаву центробежного вращения; особенностью мерной чаши рисунка в) является то, что объем ее соответствует металлоемкости литейной формы



На практике чаще применяют прямые шлакоуловители трапециевидного сечения, в которых движение частицы шлака определяется скоростью ее движения в горизонтальном и вертикальном (всплытии) направлениях (рис. 1.6.6а,б). Чем больше отношение вертикального перемещения к горизонтальному, тем быстрее частица шлака достигнет потолка шлакоуловителя и не будет увлечена в отливку [32, 42].

Увеличение эффекта шлакоулавливания достигается:

- увеличением площади поперечного сечения шлакоуловителя, его высоты или длины;
- установкой дросселя, фильтров, перегородок перед шлакоуловителями;
- повышением температуры заливаемого чугуна.

Центробежные шлакоуловители используют для ответственных отливок. Такие шлакоуловители представляют собой цилиндрические полости, в которые металл вводится по касательной (рис. 1.6.6в). При вращении металла легкие шлаковые частицы под действием центробежной силы собираются в центре шлакоуловителя и не попадают в питатель.

Литниковая система для стали должна быть построена таким образом, чтобы частицы шлака, попадающие вместе с металлом из ковша, были задержаны и не попали в по-

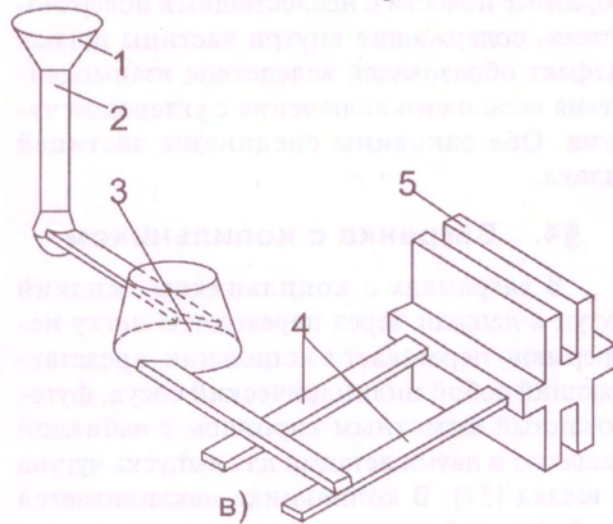
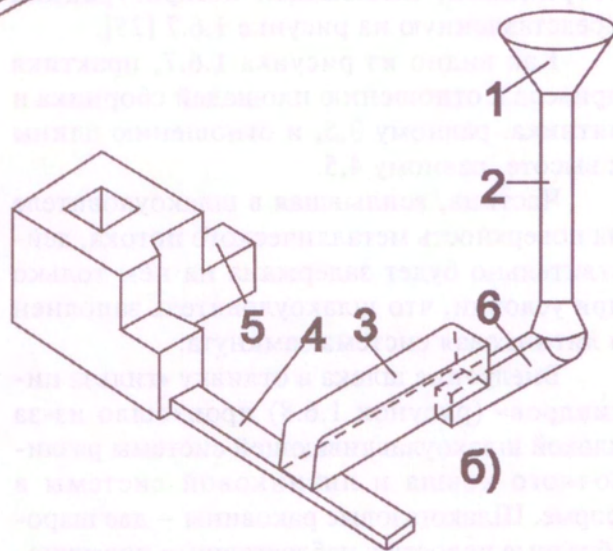


Рис. 1.6.6. Схемы литниковых систем со шлакоулавливанием:

а) – тормозящая; б) – дроссельная;

в) – с центробежным шлакоуловителем;

1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели; 5 – отливка; 6 – дроссель

лость формы. Задержка шлака производится в шлакоуловителях различных видов.

Шлаковые частицы, находящиеся в турбулентном потоке металла, наряду с всплыванием участвуют в движении самого потока. Для того, чтобы шлаковая частица могла всплыть в шлакоуловитель, он должен быть определённой расчётной длины и величины.

Длительная практика серийного производства рекомендует применять на стальных и чугунных отливках шлакоуловители со сборниками, имеющими конфигурацию, представленную на рисунке 1.6.7 [25].

Как видно из рисунка 1.6.7, практика привела к отношению площадей сборника и литника, равному 3,5, и отношению длины к высоте, равному 4,5.

Частица, всплывшая в шлакоуловитель на поверхность металлического потока, действительно будет задержана на нём только при условии, что шлакоуловитель заполнен и литниковая система замкнута.

Внедрение шлака в отливку «гильза цилиндров» (рисунок 1.6.8) произошло из-за плохой шлакоулавливающей системы разливочного ковша и литниковой системы в форме. Шлакогазовые раковины — две шарообразные полости с неблестящими поверхностями, содержащие внутри частицы шлака. Дефект образовался вследствие взаимодействия шлакового включения с углеродом чугуна. Обе раковины соединены частицей шлака.

§4. Вагранка с копильником

В вагранках с копильником жидкий чугун с лещадью через переходную летку непрерывно перетекает в копильник, представляющий собой цилиндрический сосуд, футерованный шамотным кирпичом с набивной лещадью и двумя летками для выпуска чугуна и шлака [51]. В копильнике накапливается необходимый запас чугуна, происходит его выравнивание по хим. составу и температуре, а также отстаивание от шлака. По мере накопления шлака в копильнике его скачивают через шлаковую летку. Отстоянный от шлака чугун через летку переливают в ковш. Для непрерывного выпуска металла и шлака применяются различные сифонные устройства. Вагранки длительного действия снабжаются в большинстве случаев двумя компрессионными шлакоотделителями, имеющими метал-

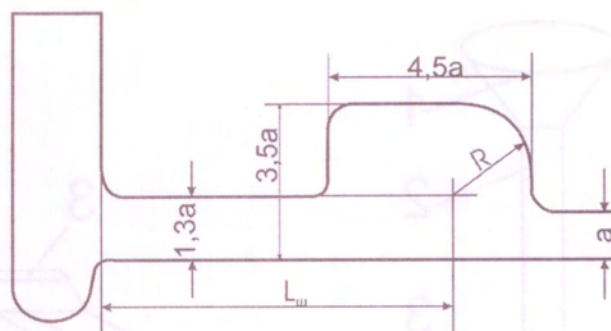


Рис. 1.6.7. Конфигурация шлакоуловителя.
 $L_{\text{ш}}$ — расчетная минимальная длина шлакоуловителя

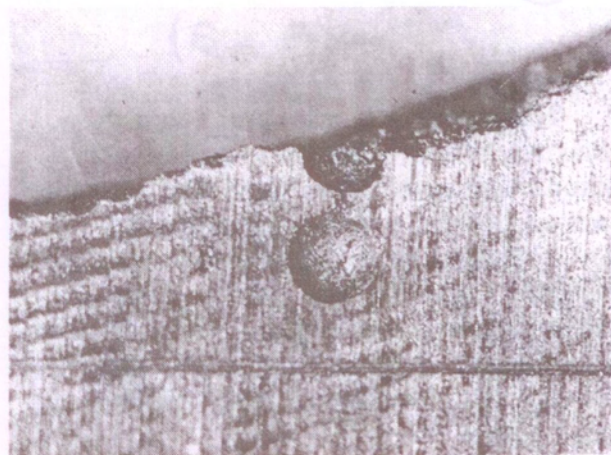


Рис. 1.6.8. Отливка «Гильза цилиндров» со шлаковой раковиной



Рис. 1.6.9. Фрагмент отливки со шлаковыми раковинами

личный и шлаковый сифоны. Эти шлакоотделители работают попеременно и обеспечивают удаление всего чугуна и шлака из горна вагранки, благодаря чему исключается воздействие жидких компонентов на футеровку горна.

При отсутствии копильника на вагранке и чайникового ковша при разливке чугуна возможно попадание частиц шлака в отливку. На отливке (рисунок 1.6.9) видны шлакогазовые раковины, образованные при взаимодействии частицы шлака с углеродом металла.

§5. Состав шлака с пониженной вязкостью

Сталь

Для свободного всплытия на поверхность стали шлак должен иметь пониженную вязкость, т.е. быть жидкотекучим и содержать минимальное количество окислов [49].

Для уменьшения содержания окислов в шлаке кислого процесса шлак удаляют через выпускное отверстие. После скачивания шлака наводят новый, вводя в печь смесь кварцевого песка с известью и шамотным боем, молотый 75%-ный ферросилиций и молотый кокс. Шлак перед выпуском содержит (в %): 20–25 CaO; 3–5 FeO; 3–5 MnO; 3–5 Al₂O₃ и 65–68 SiO₂. Жидкотекучесть в этот период высокая.

Для раскисления стали в металле после слива шлака вводят ферромарганец и 45%-ный ферросилиций в количестве 5 кг на 1 т жидкой стали. В ковше сталь раскисляют алюминием в количестве 1–1,1 кг на 1 т. Особенностью кислой стали является её меньшая газонасыщенность и высокая жидкотекучесть.

При выплавке стали в основных печах для отливок чаще всего используют вариант плавки под белым шлаком с раскислением стали ферросплавами в начале восстановительного периода.

Состав белого шлака, %: 60–65 CaO; 14–16 SiO₂; 10–12 MnO; 5–10 CaF₂; 2,5–4 Al₂O₃ и до 1,5 FeO.

Белый шлак наводят следующим образом: после скачивания окислительного шлака в сталь вводят ферромарганец до требуемого содержания, затем на зеркало расплава загружают смесь из 80% извести и 20%-плавикового шпата в количестве 1,5–3% массы металла. После образования жидкого шлака наводят белый шлак из извести, плавикового шпата и пылевидного кокса в соотношении 8:2:1. Как только шлак станет светлым, в смесь, подаваемую в печь, добавляют порошок ферросилиция, а количество кокса уменьшают. До конца плавки белый шлак поддерживают подачей в печь восстановительной смеси из извести, молотого ферросилиция, кокса и плавикового шпата.

Способствуя удалению серы и фосфора, основные шлаки в основной печи обладают меньшей вязкостью, что способствует их более свободному всплыванию на поверхность стали.

Чугун

Для образования шлака пониженной вязкости в вагранку подается известняк. При разложении и последующем расплавлении известняк соединяется с посторонними продуктами, поступающими вместе с шихтой, оплавившейся футеровкой, золой кокса, продуктами окисления шихты. Из-за уменьшения той или другой доли составляющих шлака изменяется его температура плавления, вязкость и основность. Наиболее тугоплавкими являются окислы кремния, кальция и алюминия. Образование двойных и тройных соединений этих окислов, особенно эвтектического состава, понижает температуру плавления шлака.

Например, эвтектика, состоящая из 62% SiO₂, 14,75% Al₂O₃ и 23,75% CaO, имеет температуру плавления 1155°C.

В таблице 1.6.1 представлены составы шлаков для чугунного литья. Наиболее подвижными являются шлаки состава: 45–50% CaO ; 35–40% SiO₂, 10–25% Al₂O₃. Уменьшение содержания CaO до 35% незначительно сказывается на вязкости шлака, а увеличение его содержания свыше 50% приводит к резкому ее повышению; окислы FeO, MnO, MgO в обычных концентрациях, наоборот, значительно снижают вязкость шлака. Введение в состав шлака вместо 1/3 части известняка плавикового шпата уменьшает вязкость шлака, массовая доля FeO и MnO в шлаке резко снижается.

Таблица 1.6.1. Характерный состав шлаков

Процесс	Мольная доля составных частей, %								Основность	
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	FeO + Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₃	S	CaO + MgO	SiO ₂
Кислый	40–60	20–35	5–20	1–5	1–10	1–5	0,1–0,5	0,05–0,3	0,4–0,9	
Основной	25–35	40–50	5–20	1–5	0,5–3,0	1–3	0,5–1,0	0,5–1,0	1,2–2,0	

Количество шлака при кислом процессе составляет 5–8%, а при основном 8–10% от массы чугуна.

§6. Температура заливаемого металла

Температура заливаемого металла и его выдержка в ковше для всплытия неметаллических включений оказывает влияние на возможность образования шлакогазовых раковин.

Сталь

Определение температуры заливки сводится к выбору необходимого перегрева стали, принимаемого сверх температуры начала затвердевания. При изготовлении отливок из углеродистой и низколегированной стали разных марок чаще всего достаточно иметь перегрев стали на 60–90°C, чтобы обеспечить удовлетворительное отделение неметаллических включений до заполнения литейных форм. При изготовлении тонкостенных отливок и отливок с повышенными требованиями к неровности поверхности допускается наибольший перегрев стали на 80–100°C. Это относится и к отливкам, когда возможно возникновение шлакогазовых раковин.

В таблице 1.2.1 приведены интервалы температуры заливки углеродистой стали с учетом использования шлакоулавливающей литниковой системы (см. 1.2. §7).

Чугун

Рассматриваемый дефект имеет металлургическое происхождение и может быть вызван:

- занесением частиц шлака в отливку с последующим окислением и образованием газовой оболочки;
- появлением в ванне жидкого металла жидких или твердых окисей, а затем, в результате их восстановления углеродом, образуются газовые пузыри;
- повышенным содержанием титана, алюминия, кальция, содержащихся в модификаторах.

Одним из мероприятий, снижающих вероятность появления рассматриваемого дефекта, является удаление из металла вышеперечисленных составляющих. Это достигается повышением температуры металла и его выдержки в ковше для всплытия частиц шлака, окислов, растворенного газа и др. Перед заливкой шлак счищают с поверхности жидкого металла. Заливка рекомендуется из чайникового ковша или ковша с перегородкой для удержания шлака.

Если при обычных условиях вагранка выдает чугун с температурой около 1350°C, то существует ряд приемов повышения температуры чугуна:

- повышение расхода воздуха с 80–100 до 130–150 м³/м² мм при 12–15%-ном расходе кокса дает увеличение температуры чугуна на 10–15%;
- использование трехрядной системы фурм позволяет повысить температуру чугуна на 15–20%;
- вдувание в вагранку подогретого воздуха позволяет получить чугун с повышением температуры на 70–100°C;
- обогащение дутьевого воздуха кислородом дает возможность увеличения температуры выпускаемого чугуна до 1440–1450°C;
- обработка чугуна кислородом в копильнике, на желобе, в конверторе или в ковше позволяет повысить температуру жидкого металла на 80–100°C.

Отливка «Фланец» (рисунок 1.6.10) имеет шлакогазовую раковину, вызванную наличием в расплавленном металле частицы шлака и возможностью образования газовой раковины из-за захвата воздуха заливаемым металлом. На рисунке 1.6.10б видно, что шлак, находясь в жидком состоянии, покрыл часть поверхности раковины желтоватым налетом с дополнительным образованием газа. Такой дефект был устранен повышением температуры металла и усовершенствованием литниковой системы, исключающей подсос воздуха заливаемым металлом.

§7. Снижение содержания шлака в стали

В ванну плавильной печи вместе с металлической шихтой попадают всевозможные неметаллические вещества (ржавчина, формовочная смесь и др.). Печь, желоб, ковши и литейная форма выкладываются из неметаллических огнеупорных материалов. В процессе плавки железо и его примеси частично выгорают и вместе с футеровкой образуют множество неметаллических продуктов [24].

Для устранения влияния на качество отливок неметаллических включений, к которым относится и шлак, необходимо проводить следующие мероприятия.

1. Использовать чистые или тщательно очищенные шихтовые материалы от ржавчины, остатков формовочных материалов, грязи и др.
2. Использовать для выкладки печей, желоба, ковшей более термостойкие шлакоустойчивые материалы (шамотные, хромитовые, циркониевые, карборундовые, дианасовые, магнезитовые и др.).
3. Заправку подины, откосов и стен печей или ковшей проводить более тщательно для предотвращения отрыва футеровки и попадания ее в жидкий металл.
4. Для лучшего всплывания неметаллических включений в шлак целесообразно проводить комплексное раскисление стали силикомарганцем, силикокальцием, силикоалюминием или сплавом магния с кремнием и т.д. Это позволяет разным окислам соединяться друг с другом, образуя крепкую каплю, которой легче всплывать на поверхность металла, чем мелкой.

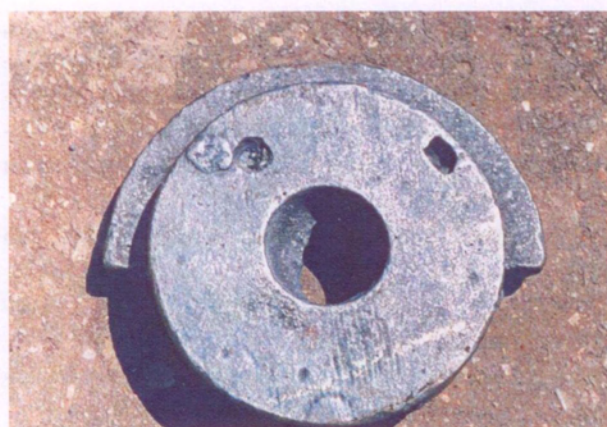


Рис. 1.6.10а. Отливка «Фланец» со шлакогазовой раковиной



Рис. 1.6.10б. Дефект отливки (увеличено)

Глава 1.7. Раковина приплюснутой формы (пузыри подкорковые), окисленная, серо-синего цвета, блестящая

Описание дефекта

Внутренние полости округлой, несколько приплюснутой формы с гладкими стенками. Обычно диаметр их превышает 5–10 мм, причем раковины, расположенные в разных частях одной и той же отливки, могут значительно отличаться по размерам [36].

Расположение дефекта

Дефект располагается только в верхней по заливке части, поражая в основном горизонтально расположенные участки, и никогда не возникает на вертикальных или на наклонных плоскостях. Полость раковины обычно отделяется от поверхности тонкой (менее 1 мм) коркой металла, стенки раковины блестящие, цвет аналогичен цвету недоливотой отливки, т. е. серо-синий. Часто дефект выходит на поверхность отливки, на внутренней поверхности таких подкорковых пузырей имеются точечные шероховатые места.

Механизм образования газовых раковин

Механизм образования газовых раковин можно представить следующим образом. При заливке форм металлом начинает интенсивно прогреваться поверхность формы и стерж-

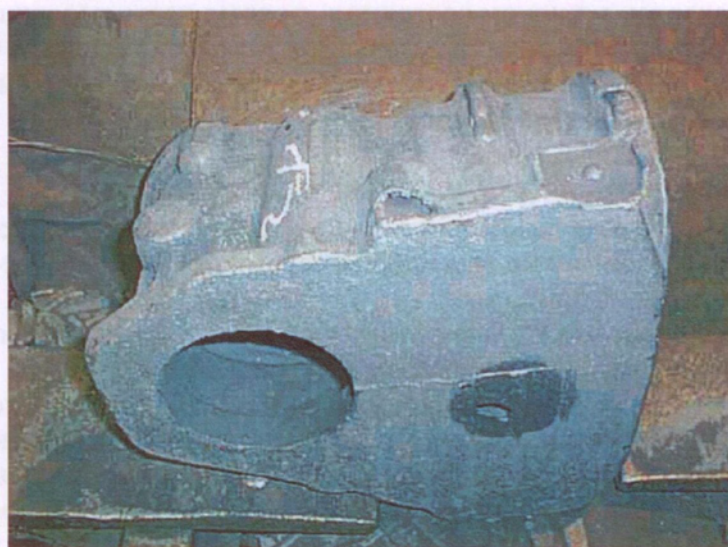


Рис. 1.7.1. Отливка «Корпус передачи» с дефектом: раковина приплюснутой формы (пузыри подкорковые), окисленная, серо-синего цвета, блестящая

ня, создавая при этом мощный газовый поток, выходящий в выпоры, газовыводящие каналы, наколы в форме, по разьему формы. Если заливка формы металлом будет происходить медленно, то значительная часть образующихся газов будет уходить в атмосферу и вероятность образования газовых раковин резко уменьшится.

После заполнения полости формы металлом в форме и стержне создается давление газов, выделяющихся от выгорания газотворных составляющих смесей. В этом случае, если газовыводящие каналы не залиты металлом и сообщаются с атмосферой, то через них будет выходить выделяющийся газ, не проникая в жидкий металл. Если давление в форме или в стержне будет больше, чем суммарное давление металлостатического напора и сопротивление проходу газов из формы или стержня в металл, то газ из стержня или формы пойдет в металл. Если металл еще жидкий и место выхода газа находится недалеко от поверхности отливки, то газ скапливается на поверхности металла под его отвердевшей корочкой, образуя плоские газовые «пузыри подкорковые». Чаще эти раковины образуются в отливках с плохими газоотводами из форм и стержней, при большой скорости заливки даже простых форм, не имеющих газоотвода с противоположной стороны от заливки и т.д.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Длина пути фильтрации газа

Важным фактором для снижения возможности образования газовых раковин является уменьшение давления газа в форме в процессе заполнения ее металлом [17]. Одним из направлений снижения давления газа можно считать уменьшение длины пути его фильтрации газа (см. 1.4. §2).

На рисунке 1.7.2а представлена отливка «Корпус задвижки» с дефектом «пузыри подкорковые», на рисунке 1.7.2б — увеличенный фрагмент дефектной отливки с отличительными признаками дефекта. Раковина возникла из-за отсутствия вентиляционных каналов в стержне, т.е. большой длины пути фильтрации газа. Кроме этого, на линии разьема стержня было увеличенное количество клея и неполная его просушка. После выполнения шомпольного отверстия по оси стержня для выхода газа в знаки стержня длина пути фильтрации L уменьшилась в 4 раза. Подсушкой склеенного стержня добились снижения газовыделения. В результате отливка получилась годной.

На рисунке 1.7.3 представлен фрагмент отливки «Головка блока цилиндров» с газовыми раковинами «Пузыри подкорковые», расположенными в верхней части отливки. Форма отливки представляет сложное соединение тонких ленточных стержней со стержнями всасывающих и выхлопных каналов. Для ликвидации дефекта требуется вывод газа из ленточных стержней, в которых, в большинстве случаев, отсутствуют вентиляционные каналы с выводом газа в атмосферу.

§2. Направленность потока заливаемого металла

Газовые раковины могут появиться в случае неправильного подвода металла к отливке, в результате чего возникает противоток требуемому движению газа (см. 1.4. §1) [14].

На рисунке 1.7.4 представлена отливка «Конус» с газовым пузырем в верхней части. Дефект вызван подводом металла в середину консольной части стержня (рисунок 1.4.2а). Для ликвидации газовой раковины металл подводился в конец отливки (рисунок 1.4.2б), а между отливками от стержня выполнялся газоотвод. Изготовленные по такой технологии отливки не имели газовой раковины.

§3. Металлостатическое давление залитого металла

Под металлостатическим напором (H) жидкого чугуна понимают давление столба металла, равное высоте от уровня металла в чаше до места подвода питателей в отливку. Напор зависит от способа заливки, типа литниковой системы, положения отливки в форме и других факторов. Для определения напора при заливке через литниковую чашу необходимо учитывать уровень металла в чаше, а при заливке через воронку — уровень металла в ковше (см. 1.2. §8).

На рисунке 1.7.5 представлена отливка «Маховик» с дефектом «Пузыри подкорковые». Верхняя опока была низкой, что вызвало недостаточный металлостатический напор и проникновение газа в металл. Отсутствовала вентиляция формы. Увеличение высоты верхней полуформы и выполнение вентиляционных наколов в верхней полуформе позволило ликвидировать рассматриваемый дефект.

В формах со сложными стержнями (головка блока цилиндров, блок цилиндров, станины, детали компрессоров и т.п.), в которых газовое давление может достигать $3000\text{--}5000\text{ Н/м}^2$, высота столба металла над верхней плоскостью стержня должна составлять $30\text{--}40\text{ см}$ при хорошей вентиляции стержней. Одновременно длина пути фильтрации газа не должна превышать 5 см .

§4. Вентиляционные наколы

Вентиляционные наколы в форме значительно сокращают длину пути фильтрации газа и дают возможность снижения его давления. В первоначальный момент заполнения формы металлом возникает обильное выделение газа от стержней и формы. Если давление газа превысит 780 Н/м^2 (8 г/см^2), то возникает реальная опасность образования газовых раковин в отливке (см. 1.1. §4).

На рисунке 1.7.6а представлена отливка «Кронштейн», которая имеет подкорковые пузыри (а), а на рисунке 1.7.6б — увеличенный дефект отливки. Причиной образования дефекта явилось полное отсутствие вентиляции и недостаточный металлостатический напор.

§5. Вентиляция формы и стержня

При заливке металлом начинается интенсивная газификация горючих составляющих формы и стержня. В форме и стержне создается избыточное давление газа, который должен выходить через выпоры, наколы на верхней полуформе и газоотводы из стержней и формы. Задача газоотводящих каналов состоит в том, чтобы они обеспечили снижение давления газа в форме. При таких условиях давление металлостатического напора будет больше суммарного давления газа от стержня и формы и газ не пойдет в металл (см. 1.2. §9).

На рисунке 1.7.1 представлена отливка «Корпус передач» с газовыми пузырями в верхней части. В раковине виден «выпот» легкоплавкой эвтектики, выжатой в полость давлением кристаллизующегося расплава. Обычно «выпот» обогащен фосфором, серой и углеродом и обделен кремнием. В литейной практике он именуется фосфидным выпотом. Пузыри подкорковые образовались из-за отсутствия требуемой вентиляции, залива стержневых знаков, что хорошо видно на рисунке. Выполнение вентиляционных каналов по разьему стержней решает рассматриваемую проблему.

Вентиляционные каналы для удаления из стержней и форм газа, выделяющегося в процессе заливки, должны выполняться в стержнях с таким расчетом, чтобы образующиеся газы удалялись через торцы знаков и наколы в форме.



Рис. 1.7.2а. Отливка «Корпус задвижки» с газовой раковиной

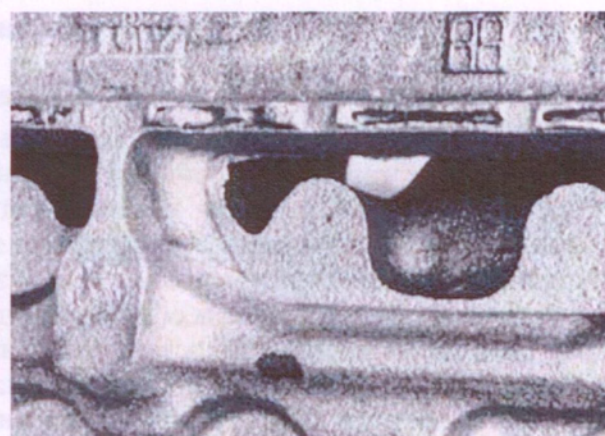


Рис. 1.7.3. Отливка «Головка блока двигателя» с газовыми раковинами

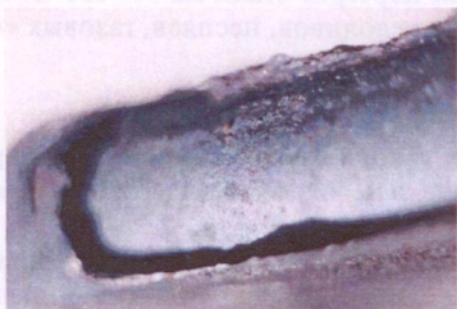


Рис. 1.7.2б. Фрагмент отливки с дефектом (увеличено)



Рис. 1.7.4. Отливка «Конус»

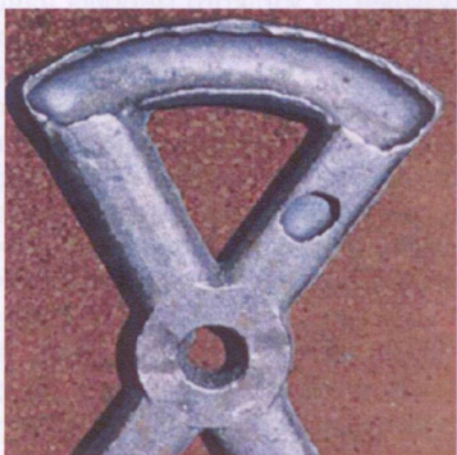


Рис. 1.7.5. Отливка «Маховик» с газовой раковиной



Рис. 1.7.6а. Отливка «Кронштейн» с газовой раковиной



Рис. 1.7.6б. Дефект отливки (увеличено)

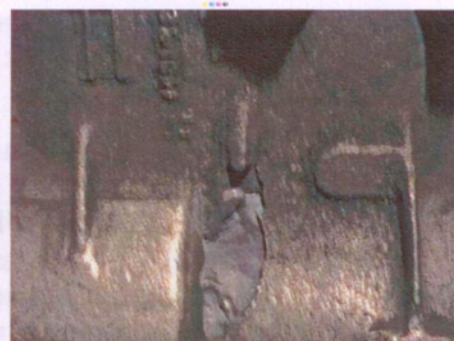


Рис. 1.7.7. Отливка «Корпус трансмиссии» с газовой раковиной и неспаям

§6. Температура заливаемого металла

Сталь

Температура заливаемого металла оказывает влияние на возможность образования горячих трещин, газовых раковин, пригара, неспая, недолива и других дефектов отливок.

Определение температуры заливки сводится к выбору необходимого перегрева стали, принимаемого сверх температуры начала затвердевания. При изготовлении отливок из углеродистой и низколегированной стали разных марок чаще всего достаточно иметь перегрев стали на 30–60°C, чтобы обеспечить удовлетворительную заполняемость литейных форм. При изготовлении тонкостенных отливок и отливок с повышенными требованиями к неровности поверхности допускается наибольший перегрев стали на 50–100°C. Это относится и к отливкам, когда возможно возникновение недоливов, неспаев, газовых «пузырей подкорковых» и т.д. (см. 1.2. §7).

Чугун

Для снижения возможности образования газовых раковин рекомендуемая температура заливаемого чугуна 1360–1390°C. Перед заливкой металл необходимо выдержать в ковше для всплытия пузырьков газа.

При повышении температуры уменьшается опасность образования объемных газовых раковин и увеличивается опасность образования поверхностных раковин. Наибольшей опасности подвергаются места с напряженными тепловыми потоками, как, например, во внутренних узлах отливок. Наименее подвержены образованию поверхностных раковин тонкостенные места отливки. Для удаления газовых пузырей из жидкого металла наиболее эффективно повышение температуры заливаемого металла. Во-первых, уменьшается вязкость чугуна, а время до образования корки чугуна увеличивается. Во-вторых, увеличение температуры чугуна в этом интервале незначительно увеличивает скорость газообразования и повышение давления газа в форме. Таким образом, при повышенной температуре заливки чугуна увеличивается время, в течение которого возможно удаление пузырей газа из отливки. С другой стороны, при повышении температуры заливки возможно увеличение количества усадочных или других дефектов. Поэтому для отливок каждого типа температуру заливки следует устанавливать с учетом всех факторов, влияющих на качество литья.

На рисунке 1.7.7 отливка «Корпус трансмиссии» имеет поверхностный дефект, вызванный недостаточной температурой заливаемого металла и неудовлетворительной работой системы вентиляции стержней и формы. При повышении температуры заливки чугуна и выполнении незаливаемых газовыводящих каналов из стержней и формы данный дефект не будет повторяться.

§7. Заливка формы металлом

Время заливки стали

Время заливки зависит от размеров и особенностей конструкции отливки, литейных свойств определённой стали, теплоаккумулирующих свойств материала, формы и др. Для получения тонкостенных отливок, имеющих развитую поверхность стенок, требуется уменьшение времени заливки, чтобы не допустить образование недоливов и спаев. При изготовлении же отливок, склонных к образованию подкорковых газовых пузырей, требуется увеличение времени заливки для свободного удаления газа из полости формы (см. 1.4. §9).



Рис. 1.7.8. Фрагмент отливки «Колесо маховое» с газовой раковиной



Рис. 1.7.10а. Отливка «Наконечник» с литниковой системой

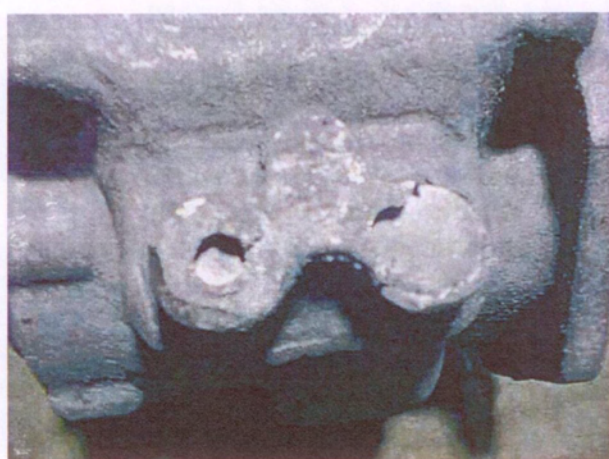


Рис. 1.7.9. Фрагмент отливки «Корпус трансмиссии» с газовой раковиной



Рис. 1.7.10б. Отливка «Наконечник» с газовой раковиной



Рис. 1.7.11. Фрагмент отливки «Корпус коробки передач» с газовой раковиной



Рис. 1.7.12а. Отливка «Переходник» с газовым «пузырем подкорковым»



Рис. 1.7.12б. Фрагмент отливки с дефектом (увеличено)

Скорость заливки чугуна

Для получения качественного литья очень важными являются температура заливаемого чугуна и весовая скорость заливки. Это продиктовано конструкцией отливок и технологией их изготовления. Если учесть, что одни отливки подвержены газовым раковинам, другие — усадочным, третьи — трещинам, четвертые — комбинации из перечисленных и т.д., то становится очевидным индивидуальный подход по определению температуры и скорости заливки металла. Например, для ликвидации раковин газовых окисленных требуется повышенная температура чугуна и пониженная скорость заливки, а для ликвидации недолива — повышенная температура и повышенная скорость заливки (в среднем на 10–15% от расчетной) (см. 1.4. §9).

На рисунке 1.7.8 представлен фрагмент отливки «Колесо маховое» с пузырем подкорковым. Дефект появился в результате высокой скорости заливки, из-за чего газ и воздух в полости формы не успели удалиться через ее поры. Выполнение сквозных наколов для выхода воздуха способствовало ликвидации дефекта.

§8. Газотворность стержня и формовочной смеси

Газотворность стержня

Необходимо установить оптимальный состав стержневой смеси с газотворностью не более 10 куб. см на грамм смеси. Высокие требования к газотворности вызваны сложностью удаления газа из стержней в процессе заливки. Однако созданием хороших не заливаемых металлом газоотводов из стержня через знаки в атмосферу можно компенсировать повышенную газотворность стержней (см. 1.4. §4).

Газотворность формовочной смеси

Формовочная смесь должна содержать минимальное количество газотворных материалов — воды, органических связующих, противопригарных добавок, глины и др. Наибольшей газотворностью (паровыделением) обладает вода, поэтому содержание ее в смеси должно быть ограничено (см. 1.4. §4).

Представленная на рисунке 1.7.9 отливка «Корпус трансмиссии» имеет окисленную газовую раковину, возникшую из-за повышенной (более 20 см³/г смеси) газотворности формовочной смеси и не выполненным газоотводом с противоположной стороны от заливки. Снижение газотворности формовочной смеси до 14 см³/г, выполнение наколов на верхней полуформе является залогом ликвидации данного дефекта.

На рисунке 1.7.10 представлен куст отливок «Наконечник» с литниковой системой. Несмотря на правильные расположения питателей, большинство отливок имеют газовые раковины. Причина заключалась в высокой газотворной способности стержневой смеси, равной 22–24 см³/г. Снижение газотворной способности смеси до 14 см³/г, выполнение сквозных наколов через верхнюю опоку на знак стержня ликвидировало рассматриваемый дефект.

§9. Газопроницаемость формовочной смеси и стержня

Газопроницаемость стержня

Для улучшения удаления образующихся газов из стержней их газопроницаемость должна быть на достаточно высоком уровне. Стержни, отверждаемые в оснастке, должны иметь газопроницаемость не менее 130 ед., а отверждаемые в тепловых сушилках не менее 100 ед.

Рекомендации по повышению газопроницаемости стержня изложены в 1.1. §3.

Газопроницаемость формовочной смеси

Следует уменьшить длину пути фильтрации газа; уменьшить расстояние от отливки до стенок и лада опок, предусмотреть вентиляционные каналы в форме и стержнях.

Уменьшить содержание влаги до 4,5%, снизить количество отработанных компонентов смеси (глины и крепителя, молотого угля).

Крупные пески повышают газопроницаемость, поэтому надо чаще освежать смесь (см. 1.4. §5, 1.1. §3).

На отливке «Корпус коробки передач» (рисунок 1.7.11) верхний фланец поражен газовыми раковинами. Вызвано это увеличенным давлением газа в форме и стержнях, превышающим рекомендуемый предел в 780 Н/м^2 (8 г/см^2). Увеличение давления связано с большим объемом стержней, плохим газоотводом, частично заливаемыми стержневыми знаками, низкой газопроницаемостью стержней. После создания не заливаемых металлом и сообщающихся с атмосферой вентиляционных каналов стержней и формы, повышения газопроницаемости стержня до 110 ед. поверхностные газовые раковины исчезают.

§10. Вентиляция формы через открытые выпоры и прибыли

Источниками образования газовых «подкорковых пузырей» может быть:

- воздух, заполняющий полость литейной формы и подсасываемый литниковой системой в процессе заливки металла;
- газообразные продукты горения органических связующих и испарение или возгонка веществ, присутствующих в стержневой и формовочной смеси.

Наиболее обильно газообразные вещества выделяются перед окончанием заливки и в течение 10–20 секунд после заливки формы металлом. Затем выделение снижается и после образования корки металла становится безопасным. Минимальное критическое давление, при котором газ проникает в тело затвердевающей отливки, составляет $1000\text{--}1200 \text{ Н/м}^2$. Если сопротивление выходу газов во внешнюю атмосферу окажется более критического, то в отливке могут образовываться газовые раковины.

Значительную роль в снижении газовых пузырей подкорковых играет одновременное действие нескольких технологических факторов:

- наличие открытых выпоров и прибылей, установленных на наиболее высоких частях отливки;
- создание минимальной длины пути фильтрации газа;
- увеличенное время заливки жидкого металла.

При замедленной скорости заливки (в пределах допустимого) образующийся в первые секунды газ свободно удаляется через открытые выпоры и прибыли, что способствует снижению критического давления газов в полости формы. В дальнейшем, при заполнении формы металлом, активную роль в удалении газа из формы играет газопроницаемость стержней и формы совместно с вентиляционными каналами.

Для исключения захвата воздуха струей заливаемого металла можно воспользоваться следующими рекомендациями.

1. Понижать высоту падения струи металла при заливке форм.
2. Струя металла должна быть правильной формы — круглая. Разбрызгиваемая, неправильной формы струя металла увлекает большое количество воздуха.
3. Литниковая чаша, по возможности, должна быть большего размера для всплывания захваченных пузырей воздуха.
4. Исключить возможность образования вихревого закручивания металла в литниковой чаше или воронке, что появляется при низком уровне металла во время заливки.

5. Исключить острые углы стояков и питателей, создающих условия сужения струи металла и подсоса воздуха из формы, особенно при увеличенном диаметре стояка.
6. Выполнить шлаковик увеличенной протяженности и достаточной высоты.
7. Уменьшить скорость заливки металла.
8. Повысить газопроницаемость верхней полуформы: увеличить фракцию песка до 04, понизить плотность набивки, увеличить количество наколов в местах образования газовых раковин, уменьшить толщину наносимого противопригарного покрытия.
9. Выполнить эффективную вентиляцию стержней с созданием максимальной длины пути фильтрации газа в пределах 5–6 см, что гарантирует свободное удаление газа из стержней.

Дефект (рисунок 1.7.12) образовался в результате отсутствия открытых выпоров на верхних частях фланцев и недостаточной вентиляции стержня. После выполнения по оси стержня шомпольного отверстия и установки открытых выпоров на полную толщину фланца дефект не появлялся.

§11. Сифонный способ заливки

Сифонная заливка стали применяется в ряде случаев для средних и крупных отливок (от 100 кг и выше) при значительной толщине стенок, развитой поверхности, сравнительно невысоких. Такой способ заливки создаёт следующие преимущества:

- исключение размыва формы и образование засоров при соблюдении требуемых по технологии параметров;
- получение качественной поверхности в нижних частях отливок;
- направленный выход воздуха и газа через верхнюю часть формы.

Для улучшения выхода газа в верхней части формы следует выполнить открытые (в ряде случаев карандашные) выпоры и прибыли. Через карандашные выпоры проходит воздух, но металл в них не проникает, так как сечения выпоров малы и жидкотекучесть стали при проходе по ним близка к нулю.

Для формирования направленного затвердевания отливки рекомендуется подача первых порций стали сифоном, а последующих под затопленный уровень в верхней части отливки.

§12. Толщина корки затвердевшей стали

Быстрое формирование корки затвердевшего металла в форме в большинстве случаев оказывает влияние на возникновение газовых раковин (при наличии хорошей вентиляции формы и стержня можно избежать возникновения в отливке газовых раковин, даже при условии быстрого формирования корки). В то же время медленное образование корки металла способствует появлению газовых дефектов. Поэтому представляет интерес ознакомиться с условиями формирования корки металла при его движении в форме. На рисунке 1.7.13 представлено влияние температуры металла и времени его течения на толщину затвердевшей корки [25].

В случае заливки стали при температуре, близкой к точке кристаллизации (1510°C), процесс затвердевания происходит одинаково на различных расстояниях от начала питания. Затвердевание начинается сразу же после соприкосновения металла со стенками формы. В случае заливки стали при более высокой температуре — 1550°C затвердевание происходит тем медленнее, чем ближе к питателю расположен соответствующий участок. В случае заливки стали при высокой температуре — 1600°C кривые затвердевания для участков, близких к началу потока, еще более деформируются. На первых 100–200 мм от места подвода питателя затвердевание металла начинается только через некоторый промежуток времени

после его соприкосновения с поверхностью формы. На больших расстояниях от начала потока, где перегрев ликвидируется, различие в скоростях затвердевания на различных расстояниях перестает сказываться.

Следовательно, температура заливки и снятие перегрева по длине потока оказывают решающее влияние на начало затвердевания и характер нарастания корки в начальной стадии затвердевания.

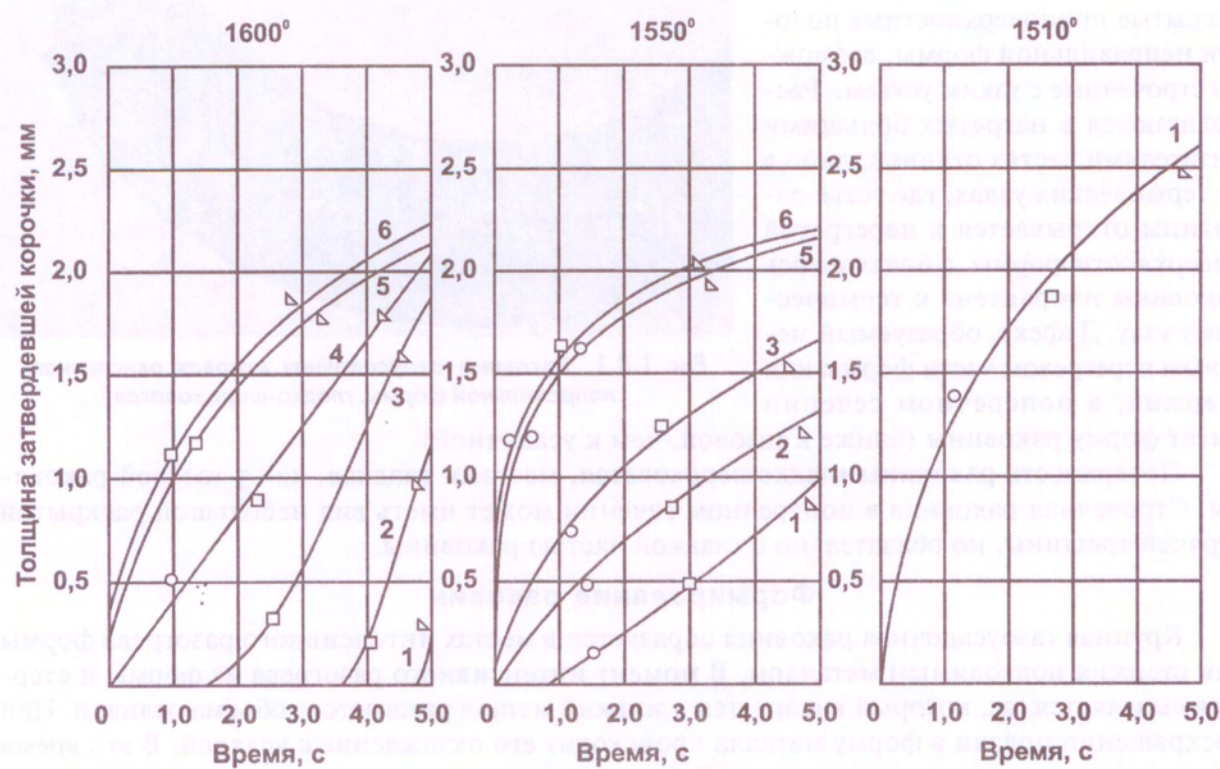


Рис. 1.7.13. Кривые затвердевания стали в песчаной форме в движущемся потоке для различных температур заливки:

1 – начальный участок потока; 2 – на расстоянии 60–120 мм от начала канала;
3 – на расстоянии 120–180 мм; 4 – на расстоянии 180–240 мм;
5 – на расстоянии 420–480 мм; 6 – на расстоянии 480–540 мм

§13. Разное, или Советы бывалого

1. Заделка дефектов стержней и форм ремонтным составом. Ремонтный состав содержит вещества (лигносульфонат, декстрин, жидкое стекло, вода и др.), обладающие повышенной газотворностью и гигроскопичностью. С полной информацией можно ознакомиться в 1.4. §11.

Глава 1.8. Раковина газоусадочная, матовая, окисленная, неправильной формы, гладко-шероховатая

Описание дефекта

Дефект представляет собой закрытые приповерхностные полости неправильной формы, возможно строчечные с узким устьем. Располагаются в нагретых большими питателями частях отливки, либо в её термических узлах, где устье раковины открывается к перегретой поверхности формы, а большая ось раковины направлена к термическому узлу. Дефект, образуемый местным перегревом части формы или стержня, в поперечном сечении имеет форму раковины (ближе к газовой, чем к усадочной).

Поверхность раковины гладкошероховатая, местами гладкая, как у газовой раковины. Строчечная раковина в поперечном сечении может иметь вид небольшой раскрытой горячей трещины, но обязательно с гладкой частью раковины.

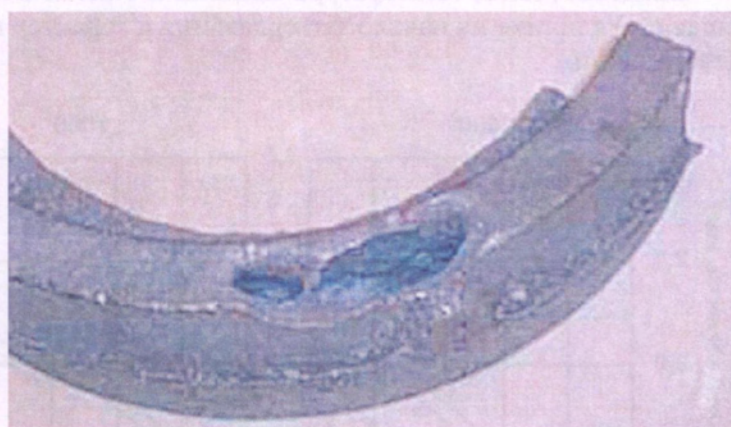


Рис. 1.8.1. Раковина газоусадочная, матовая, окисленная, неправильной формы, гладко-шероховатая

Формирование раковин

Крупная газоусадочная раковина образуется в местах интенсивного разогрева формы или стержня подводимым металлом. В момент интенсивного разогрева из формы и стержня выделяется газ, который внедряется в жидкий металл разогретого объема отливки. При прекращении подачи в форму металла происходит его охлаждение с усадкой. В это время газ из формы или стержня заполняет объем усадки, округляя при этом полость раковины.

Строчечная раковина образуется на ранних стадиях затвердевания, в основном, в термических узлах отливок, сопряженных с газотворными стержнями, сырой формой или формой и отсыревшими стержнями, которые подвергаются сильному местному перегреву. При наличии в центральной части термического узла жидкой фазы и поступления к нему новых порций металла усадка на отдельных участках кристаллизующегося слоя будет компенсироваться этим поступлением.

При прекращении поступления металла продолжающаяся усадка будет создавать условия разрежения в термическом узле. Если в это время из стержня, формы или металла будет выделяться обильное количество газа, то он будет стремиться заполнить разреженные части отливки, металл в которых находится в жидко-тестообразном состоянии. В результате усадочные пустоты будут принимать более округлую форму, поверхность раковины может быть более или менее гладкой или шероховатой в зависимости от степени разрежения термического узла и давления образующегося газа. В зависимости от состава газов, выделяющихся в результате местного перегрева формовочной или стержневой смеси, а также от степени развития кристаллизации на момент прорыва газов через тонкую корку в металл стенки раковины могут иметь разный цвет и более или менее выраженный дендритный рельеф.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Место подвода питателей

Чугун

Выбор места подвода металла и конструкции литниковой системы играют важную роль при формировании отливки.

Для сокращения усадочных явлений в сером чугуне необходимо при разработке технологии заливки каждой детали стремиться к тому, чтобы температура металла по всем сечениям выравнивалась. Для этого существуют различные приемы, одним из которых является подвод металла в тонкие места отливки. Этим ликвидируется разогрев массивных частей отливок и достигается выравнивание температурного режима отливки. При необходимости у массивной части отливки устанавливается холодильник. Питатели необходимо располагать таким образом и в том количестве, чтобы истекающий из них металл не мог интенсивно разогреть стенку формы, горизонтальные поверхности формы быстро покрывались металлом, уровень его в форме при заливке изменялся равномерно (струя металла в процессе заливки формы не должна прерываться). Рекомендации при выборе места подвода металла в форму:

- подвод металла в тонкое место отливки способствует выравниванию скорости охлаждения тонкой и более массивной частей отливки, уменьшению напряжений и усадочных раковин;
- при расположении питателей желательно, чтобы струя не ударяла в стенку формы или стержня, горизонтальные поверхности формы быстро покрывались металлом;
- уровень металла в форме в процессе заливки не должен иметь продолжительных остановок;
- части стержней с вентиляционными каналами не должны перегреваться потоком подводящего металла;
- для чугунных отливок целесообразна система запертого типа (способствующая задержанию шлака), сужающаяся (быстрое заполнение металлом с положительным давлением);
- для уменьшения скорости потока чугуна в каналах используются тормозящие литниковые системы. Их отличие — использование местного сопротивления — дросселя (например, в виде сетки, щели, внезапного сужения канала и последующего расширения и т.д.).

Сталь. Заполняемость формы металлом

Заполняемость формы является важным моментом при ликвидации ряда дефектов отливки.

Заполняемость повышается при увеличении сечения стояка и литникового хода и уменьшения их длины, так как это позволяет сохранить более высокую температуру металла при его поступлении в форму. Увеличение скорости заполнения (без разрушения формы) увеличивает заполняемость.

На рис. 1.8.2 представлены результаты заливки литниковых систем сталью с различной температурой [25]. Достаточно перегретый металл способствует лучшему заполнению литниковых каналов (рис. 1.8.2а). Питатели, присоединенные вблизи места сопряжения сто-

яка и литникового хода, а также в конце литникового хода, имели пониженную заполняемость. При малом перегреве наилучшая заполняемость достигалась у питателей, расположенных вблизи стояка. В случае заливки при высоких температурах определяющим является гидравлический фактор, а в случае заливки при низких температурах — тепловой.

Если на пути металла в тонкой стенке имеется утолщение или установлена прибыль (рис. 1.8.2б), движение в этом месте замедляется и заполняемость стенки после утолщения сокращается по сравнению с тем случаем, когда заливается стенка тех же размеров, но без утолщения.

Заполняемость тонкой стенки улучшается при рассредоточении подвода металла.

Подвод металла несколькими питателями увеличенной толщины дает лучшие результаты, чем подвод щелевым питателем меньшей толщины, но равной площади сечения.

Заполняемость вертикальных стенок выше, чем горизонтальных, что демонстрируется на рисунке 1.8.2в. Заполнение вертикальных стенок при подводе металла сверху вниз выше, чем при подводе снизу (рисунок 1.8.2г). Например, подвод металла сверху обеспечивает заполняемость всей пластины при температуре 1550°C; при подводе снизу при этой температуре заполняемость составила 34% высоты, а при температуре 1600°C — 83%.

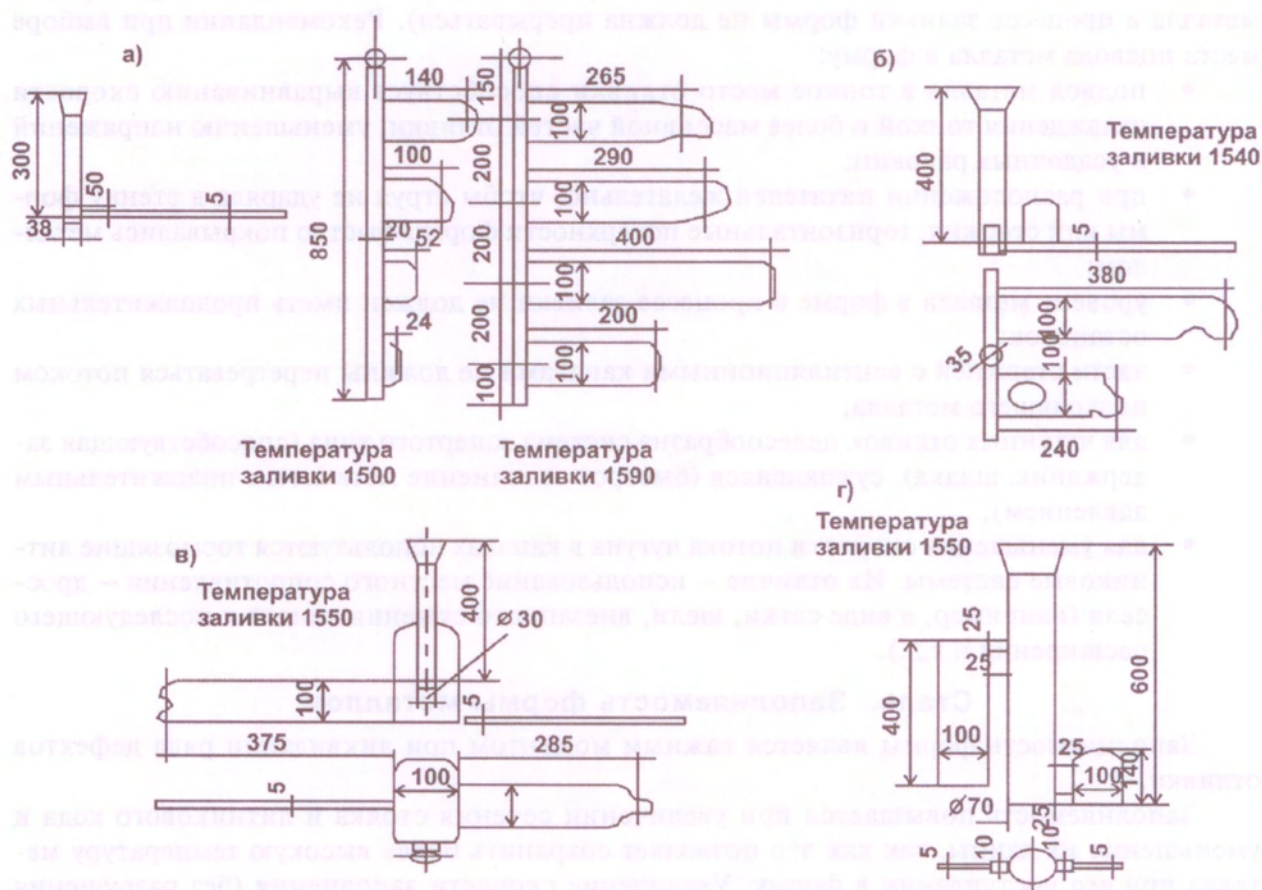


Рис. 1.8.2. Заполняемость тонкостенных стальных отливок при различных условиях подвода металла:
а — влияние длины пути металла в литниковом ходе; б — влияние утолщения стенки по ходу течения металла;
в — влияние положения стенки отливки (горизонтально и на ребро);
г — влияние места подвода металла (сверху и снизу)

Отливка «Тормозной барабан» (рис. 1.8.3) имела увеличенный питатель, что способствовало интенсивному разогреву формы. В результате, в конце заливки, обильные газы формы проникли в жидкий металл отливки в районе питателя. В процессе охлаждения и усадки металла образовалась газоусадочная раковина.

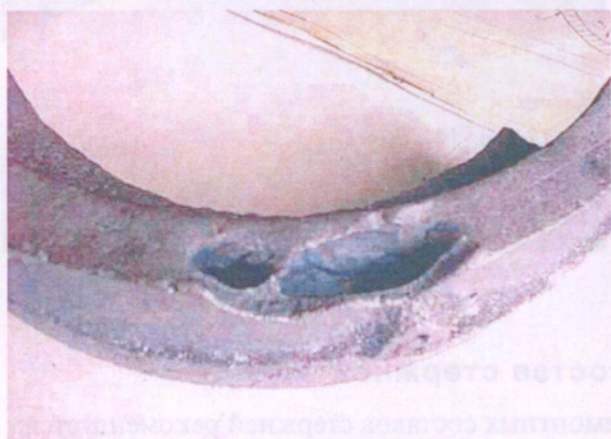


Рис. 1.8.3а. Отливка «Тормозной барабан» с газоусадочной раковиной



Рис. 1.8.3б. Фрагмент отливки с дефектом (увеличено)

§2. Газотворность стержней и формовочной смеси

Газотворность стержней

Необходимо установить оптимальный состав стержневой смеси с газотворностью не более 10 куб. см на грамм смеси.

Смесь должна содержать минимальное количество газотворных материалов (воды, органических связующих, противопригарных добавок, глины и др. (см. 1.4. §4).

Газотворность формовочной смеси

Для предупреждения механического проникновения газа в отливку из формовочной смеси необходимо:

- повысить напор металла, увеличивая высоту верхних опок, литниковых чаш, выporов и прибылей;
- снизить температуру заливки металла;
- в формовочную смесь добавить каменноугольную пыль, которая создает изолирующий газообразный слой между формой и отливкой и ликвидирует прямой контакт водорода с металлом (образование водорода возможно, например, при контакте алюминия с влагой формы);
- увеличить скорость заливки;
- покрывать форму материалом, улучшающим смачиваемость поверхности (см. 1.4. §4).

Формовочная смесь отливки «Фланец» (рис. 1.8.4) имела повышенную газотворную способность (до 25 см³/г смеси). При заливке металлом газ из формы сконцентрировался в области теплового узла — в месте подвода металла. Усадочное явление металла совместно с газом из формовочной смеси сформировали газоусадочную раковину. Выполнение рассредоточенного подвода металла с одновременной вентиляцией верха формы позволило ликвидировать рассматриваемый дефект.



Рис. 1.8.4. Отливка «Фланец» с газоусадочной раковинной



Рис. 1.8.5. Отливки «Колесо насоса» с газоусадочной раковинной

§3. Ремонтный состав стержней

В качестве информации о газотворности ремонтных составов стержней рекомендуется:

1. Ремонтные составы содержат вещества (лигносульфанат, декстрин, жидкое стекло, вода и др.), обладающие повышенной газотворностью и гигроскопичностью.
2. В связи с повышенной газотворностью ремонтного состава и неотверждения его при коротком цикле подсушки отремонтированных стержней необходимо запретить ремонт стержней с дефектом, размеры которого превышают требования технологического процесса.
3. Рекомендуемый размер дефектов, подлежащих ремонту: площадь — до 4 см²; глубина — до 1 см.

§4. Длительность выдержки собранных форм

При выдержке собранных форм со стержнями на конвейере более 30 минут происходит увлажнение стержней, начиная от знаков и на всю окрашенную поверхность. Процессу переноса влаги на стержень сопутствует повышенная гигроскопичность краски (см. 1.2. §4).

Собранная форма отливки «Колесо насоса» в течение 5 часов находилась в незалитом состоянии. В результате поверхность стержня покрылась конденсатом влаги. При заливке металла в утолщенные места отливки попал продукт разложения воды (водород), где при охлаждении металла образовалась газоусадочная раковина. На образование водорода указывает светлый цвет раковины.

§5. Вентиляция формы и стержня

Вентиляционные каналы для удаления из стержней и форм газов, выделяющихся в процессе заливки, должны выполняться в стержнях с таким расчетом, чтобы образующиеся газы удалялись не через рабочую полость литейной формы, а через торцы знаков.

Вентиляция стержней осуществляется следующими основными способами:

- установкой душников (или железных прутьев) с последующим их удалением из стержней, выполнением вентиляционных каналов при изготовлении стержней по половинкам;
- накалыванием стержней душником, сверлением отвержденных стержней по центральной оси;
- установкой трубных каркасов с отверстиями;

- изготовлением стержней с внутренней полостью, заполненной опорным материалом (крупнозернистым) или не заполненной;
- изготовлением стержней оболочковыми (см. 1.2. §9).

§6. Температура заливаемого металла

Сталь

Температура заливаемого металла оказывает влияние на возможность образования усадочных явлений в стальных отливках.

Определение температуры заливки сводится к выбору необходимого понижения температуры стали, принимаемого сверх температуры начала затвердевания. При изготовлении отливок, склонных к усадочным проявлениям (толстостенные, с местными скоплениями металла и др.), допускается минимальный перегрев стали на 10–40°C и ниже. Это относится к отливкам, на которых возможно возникновение газоусадочных раковин, открытых и закрытых усадочных раковин, усадочной пористости.

В таблице приведены интервалы температуры заливки углеродистой стали (см. 1.2. §7).

Содержание углерода, %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Интервалы температуры заливки, °C	1540–1570	1530–1560	1520–1550	1510–1540	1505–1535	1500–1530	1490–1520

Чугун

Общеизвестным фактором является уменьшение объема залитого в форму чугуна при последующем его охлаждении. В результате снижения объема в верхних тепловых узлах возможно появление открытых усадочных раковин. Чем выше температура заливаемого в форму металла, тем больше будет проявляться эффект усадки и увеличиваться размер усадочной раковины. В ряде случаев для снижения усадочной раковины производят заливку охлажденного чугуна. Это оправдано при изготовлении простых отливок, но недопустимо при производстве сложного, фасонного литья. Как известно, для снижения возможности образования газовых раковин и некоторых других дефектов используют чугун с температурой до 1380°C. Поэтому при изготовлении отливок необходимо определять температуру заливаемого металла, исходя из конструктивных особенностей заливаемого литья и его склонности к образованию различных дефектов.

Для сокращения усадочных раковин необходимо при разработке технологии заливки каждой детали стремиться к тому, чтобы температура металла отливки по мере приближения к прибыли увеличивалась; в прибыль должен попадать наиболее горячий металл.

Для получения литья повышенного качества можно пользоваться и комбинированными приемами снижения дефектности отливок. К примеру, заливаемая отливка склонна к появлению газовых и усадочных раковин. По отношению к температуре заливаемого металла рассматриваемые дефекты имеют противоположное направление, о чём отмечено выше. Тем не менее, есть резерв снижения температуры заливаемого металла. Для этого надо выполнить вентиляцию стержней и формы с условием получения максимальной длины пути фильтрации газа в пределах 3–4 см. При хорошей вентиляции допустимо снижение температуры заливаемого металла до 40°C и более. Этот интервал температуры окажет положительное влияние на снижение усадочных раковин. Другой пример – создание направленного локального отверждения теплового узла использованием холодильника или охлаждающей смеси (хромитовые или хромомagneзитовые смеси, кирпичи на их основе и т.д.). Холодильник или облицовочную смесь помещают под тепловой узел (заформовы-

вают в стержень или форму). При заливке металла происходит интенсивный отток тепла в сторону холодильника, что способствует направленной кристаллизации металла и значительному снижению или полной ликвидации усадочной раковины.

§7. Простановка горячих стержней в холодную форму или холодных стержней в горячую форму

Установка холодных стержней в горячую форму

При установке холодных стержней в горячую форму влага конденсируется на холодной поверхности стержня. При соприкосновении жидкого металла с влажной поверхностью стержня вода разлагается и выделяется атомарный водород, адсорбирующийся на поверхности металла. С дальнейшей информацией по данному вопросу можно ознакомиться в 1.1. §10.

§8. Заливка формы металлом

Скорость заливки чугуна

Для получения качественного литья очень важными являются температура заливаемого чугуна и весовая скорость отливки. Это продиктовано конструкцией отливок и технологией их изготовления. Если учесть, что одни отливки подвержены газовым раковинам, другие — усадочным, третьи — трещинам, четвертые — комбинации из перечисленных и т.д., то становится очевидным индивидуальный подход по температуре и скорости заливки металла. Например, для ликвидации раковин газовых окисленных требуется повышенная температура чугуна и пониженная скорость заливки, а для ликвидации газоусадочных раковин — пониженная температура и повышенная скорость заливки (в среднем на 10–15% от расчетной) (см. 1.4. §9).

Время заливки стали

Время заливки зависит от размеров и особенностей конструкции отливки, литейных свойств определенной стали, теплоаккумулирующих свойств материала, формы и др. Для получения тонкостенных отливок, имеющих развитую поверхность стенок, требуется уменьшение времени заливки, чтобы не допустить образование недоливов и неспаев. При изготовлении же отливок, склонных к образованию усадочных явлений, требуется увеличение времени заливки для поступления более охлажденных порций стали в места образования усадки (см. 1.4. §9).

§9. Длина пути фильтрации газа

Одним из факторов снижения возможности образования газоусадочных раковин является уменьшение давления газа в форме в процессе заполнения ее металлом [34]. Эффективным направлением снижения давления газа можно считать уменьшение длины пути фильтрации газа L [35] (см. рисунок 1.4.7). На рисунке 1.4.7а–д представлены эскизы стержней, имеющих различную длину пути фильтрации газа и различное построение вентиляционных каналов. Эффективность удаления газа возрастает от рисунка «а» к рисунку «д» [10, 15].

С более подробной информацией можно ознакомиться в 1.4. §2.

§10. Расположение газоусадочных раковин вблизи выступающих частей стержня или формы

Газоусадочные раковины могут образовываться в различных местах скопления металла при наличии интенсивно разогретого стержня или формы. Это могут быть различного рода сочленения стенок, бонки, приливы при наличии рядом с ними выступающих частей стержня или формы. Бывают случаи образования газоусадочной раковины и на ровной массивной поверхности отливки, но при наличии повышенного газового давления в форме или стержне.

Для снижения возможности образования газоусадочных раковин от выступающих частей формы или стержня рекомендуется:

- выступающие части стержней и форм изготавливать из облицовочных захлаживающих смесей, в состав которых может входить один из перечисленных материалов — хромомагнетит, хромит, магнетит, либо из смесей с добавлением металлической дроби или стружки;
- выполнять газоотводные каналы, уменьшить газопроницаемость поверхностной части узких болванов путём применения мелких песков, плотной набивки, покрытия плотным слоем противопопригарной краски;
- применять наружные холодильники на выступающих частях формы или стержня, где образуются газоусадочные раковины.

При выборе массы холодильника следует учитывать ёмкость теплового узла и длительность течения стали вдоль холодильника. В ряде случаев холодильники изгибают из проката по конфигурации стержневого ящика, штампуют или отливают из стали, применяют холодильники в виде гвоздей, головки которых располагаются в стержне со стороны тела отливки.

§11. Использование наружных холодильников

Сталь

Применение наружных холодильников позволяет обеспечить направленность затвердевания стали и предупредить образование усадочных явлений и трещин в различных сочленениях стенок и местах скопления металла.

Влияние наружных холодильников на толщину отвержденного слоя стали марки 35Л в зависимости от времени охлаждения можно проследить на рис. 1.8.6 [25].

Нижняя кривая соответствует затвердеванию в обычной песчаной форме без холодильника; верхняя — затвердеванию в обычной металлической форме; промежуточные соответствуют холодильникам различной толщины.

На рис. 1.8.7 в относительных координатах представлена зависимость размера твердого слоя в утолщении от сечения холодильника. Исследования показывают, что при утолщении, составляющем более 50% от толщины основной стенки, выровнять время затвердевания при помощи стального или чугунного холодильника в обычной песчаной форме невозможно. Минимальные размеры плоских холодильников, служащих для ликвидации обособления жидкого металла при затвердевании утолщений, приведены в табл. 1.8.1.

Наиболее благоприятной формой сечения холодильника является трапеция. При этом его охлаждающее действие к краям постепенно снижается и не вызывает резких перепадов температуры в сопряжении поверхностей холодильника и песчаной стенки.

Наружные холодильники могут быть прямолинейные круглого, квадратного или иного профиля; криволинейные постоянного профиля и фасонные переменного профиля. Холодильники из проката используются для толстостенных отливок, чугунные — при производстве тонкостенных стальных отливок. Холодильники могут контактировать непо-

средственно с отливкой (через изолирующий слой краски) или через слой формовочной смеси. При этом холодильники могут быть с регулируемым отбором тепла при помощи прохождения в них воздуха, воды, пара и т.д.

Наряду с металлическими холодильниками используют захлаживающие смеси, которые формируют выступающие части стержней или форм, подверженных интенсивному нагреву заливаемой сталью. В состав смеси входят хромомагнетит, хромит, магнезит, чугунная дробь, металлическая стружка и др.

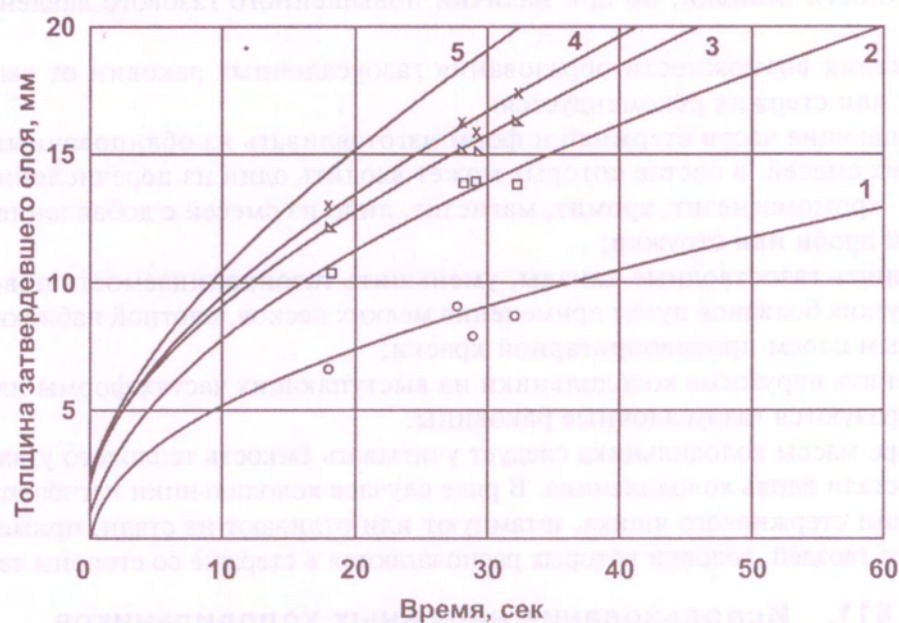


Рис. 1.8.6. Кривые затвердевания стали 35Л в форме с холодильниками различной толщины:

- 1 — песчаная форма без холодильника, $K=1,3$; 2 — холодильник толщиной 10 мм, $K=2,0$;
 3 — холодильник толщиной 30 мм, $K=2,3$; 4 — холодильник толщиной 45 мм, $K=2,4$;
 5 — металлическая стенка, $K=2,5$; где K — коэффициент затвердевания см/мин 0,5

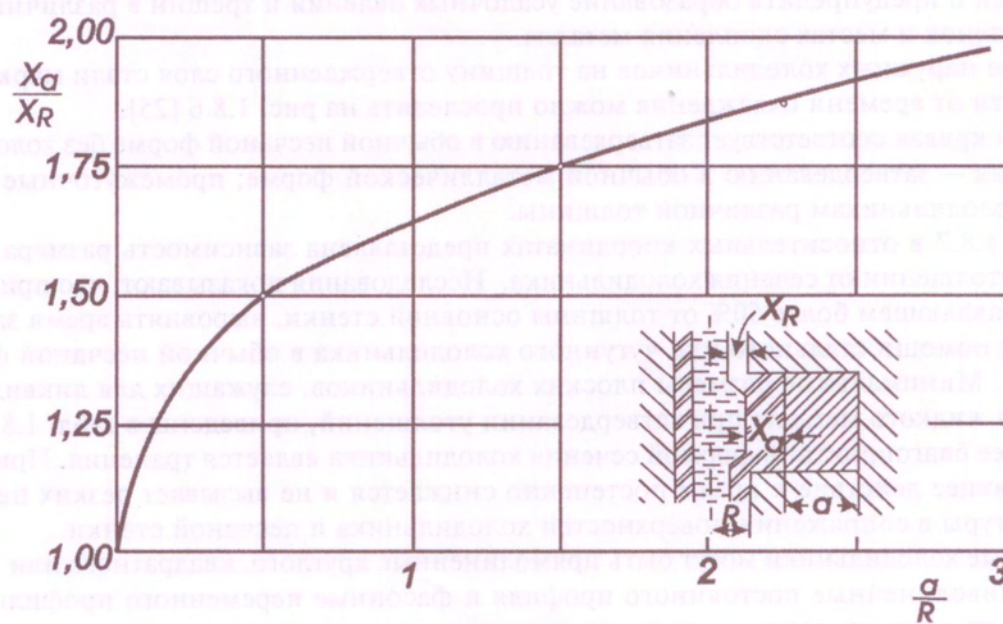


Рис. 1.8.7. Зависимость скорости затвердевания стали 35Л от толщины холодильника

Для стальных отливок Б.Б. Гуляев рекомендует определять размеры наружных холодильников из чугуна на основе отношений из таблицы 1.8.1.

Таблица 1.8.1. Размеры плоских холодильников

Толщина основной стенки, мм	Высота утолщения в % от толщины основной стенки		
	25	37,5	50
Толщина холодильников, мм			
10	3	8	15
20	5	15	30
30	8	23	45
40	10	30	60
50	13	38	75

Для внутренних холодильников рекомендуются следующие отношения.

Тип сопряжения стенок отливки	L-образный	T-образный	X-образный
Диаметр внутреннего холодильника относительно толщины основной стенки, %	27	50	70

Если в течение всего процесса заливки формы место расположения наружного холодильника промывается жидким металлом, то в подобных случаях снижается эффективность действия холодильника. На рисунке 1.8.8 приведены примеры использования внешних холодильников для ликвидации ряда дефектов.

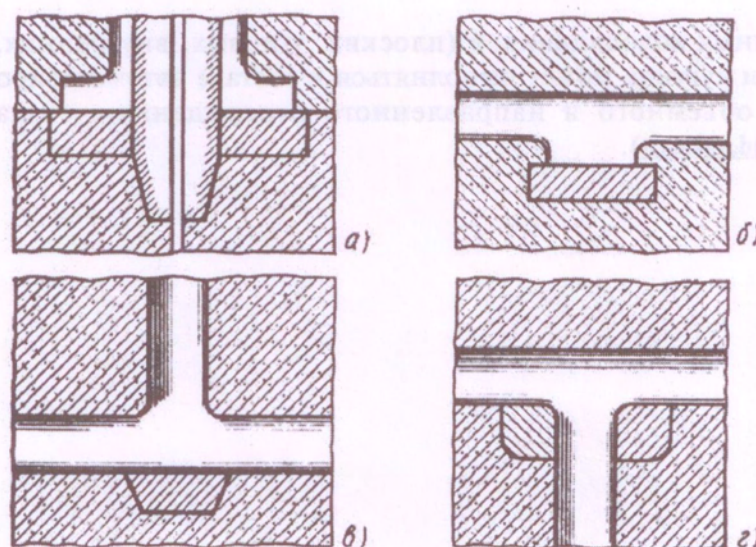


Рис. 1.8.8. Применение внешних холодильников
На рисунках «а – г» показаны примеры использования внешних холодильников для ликвидации газоусадочных раковин и других дефектов усадочного характера

Чугун

Регулирование скорости охлаждения тепловых узлов отливки производится с помощью внутренних и наружных холодильников. Установка холодильников ускоряет охлаждение тепловых узлов, что необходимо для обеспечения направленного или объемного затвердевания отливки. Ускоряя охлаждение узла, холодильник предотвращает образование в нем усадочной раковины, так как теперь узел успевает пропитаться за счет позднее затвердевающих частей отливки. Ускорение охлаждения массивных сечений отливок холодильниками, способствуя выравниванию скорости охлаждения, может привести к уменьшению внутренних напряжений, снижению коробления отливки и опасности образования трещин.

Наружные холодильники делаются чаще всего из стали, а фасонные отливаются из чугуна. Максимальная толщина плоских наружных холодильников обычно не превышает 70 мм, наибольший диаметр крупных наружных холодильников из прутка — 40–45 мм.

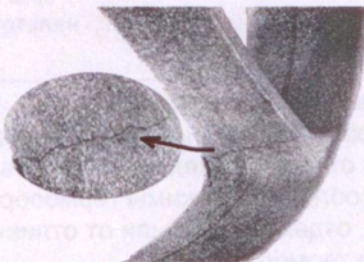
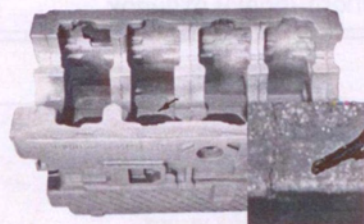
При использовании холодильников рекомендуется:

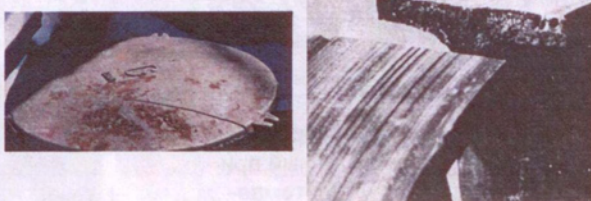
- площадь наружных холодильников должна быть меньше площади охлаждаемого теплового узла во избежание преждевременного затвердевания прилегающих к теплового узлу частей отливки, через который поступает жидкий металл от прибыли;
- в качестве наружных холодильников можно использовать введение воды в необходимые места верхней полуформы после образования корки затвердевшего металла;
- наружные холодильники должны быть не сплошными, а в виде отдельных плиток, брусков и т. д. Зазоры между отдельными холодильниками необходимо тщательно заделывать во избежание появления заливов;
- масса внутренних холодильников не должна превышать 4...4,5% массы охлаждаемого узла отливки, иначе не произойдет их прочное соединение со сплавом отливки.

Расчет различных холодильников (плоских, угловых, внутренних, наружных) для различных сталей и чугунов может выполняться в составе автоматизированной системы «Моделирование объемного и направленного отверждения», созданной авторами (e-mail: castling@cad.vstu.ru).

Раздел 2. Трещины

Классификация трещин

Группы	Классификация трещин	Состояние поверхности	Расположение трещин	Форма поверхности	Цвет поверхности	
1	2	3	4	5	6	
Холодная трещина						
1		Еле заметная	Волосовидной формы, изломанная	Одна, две в строго определенном месте	светло-серый, образованный при температуре менее 190°C	
					соломенный, образованный при температуре 190–220°C	
					синевато-фиолетовый, образованный при температуре 320–370°C	
					темно-серый, образованный при температуре 400–580°C	
						
				темно-серый с коричневым налетом, образованный при температуре 600–750°C		
Причины образования				Способы ликвидации		
Низкая температура металла, неправильное питание отливки, недостаточная прочность металла, нетехнологичность конструкции отливки, низкая податливость стержней и формы, отсутствие низкотемпературного отжига.				Повысить температуру металла, изменить место подвода металла, провести модифицирование сплава, проработать конструкцию отливки на технологичность, повысить податливость формы и стержней, провести низкотемпературный отжиг.		

1	2	3	4	5	6
Трещина термическая					
2		Заметная невооруженным глазом	Имеет острые края	Одна-две в зоне концентрации напряжений	Темно-серый до черного, иногда с коричневым налетом
Причины образования Неравномерный нагрев, резкий нагрев или охлаждение, значительный перепад температур между тонкими и массивными стенками, нетехнологичность конструкции отливки.		Способы ликвидации Обеспечить равномерный нагрев отливки, проработать отливку на технологичность конструкции, соблюдать режимы термообработки отливок, отделять прибыли от отливки до термообработки.			
Трещина «Разрыв холодный»					
3		Хорошо заметная	Пересекает всю отливку изломанной линией	В наиболее напряженных и низких по прочности участках	Светло-серый
Причины образования Нетехнологичность конструкции отливки, низкие прочность и пластичность металла, отсутствие регулируемого охлаждения, нарушения при выбивке и транспортировке отливок.		Способы ликвидации Проработать конструкцию отливки на технологичность, провести модифицирование металла, использовать режим регулируемого охлаждения, соблюдать правила выбивки и транспортировки отливок.			
Горячая трещина					
4		Внутренняя, на поверхность выходит редко. Дендритная структура, чаще мелкая	Более или менее глубокие межкристаллические трещины	На участках, затвердевающих последними	Серо-синий

1	2	3	4	5	6
Горячий излом					
5		Поверхностная или по всему телу отливки. Дендритная структура, чаще мелкая	Более или менее глубокий межкристаллический излом	На участках, затвердевающих последними	Темно-синий
Причины образования Нетехнологичность конструкции отливки, нарушение режимов термообработки, разность температур между стенками и термическими узлами, недостаточная прочность или пластичность металла, несоблюдение режимов транспортировки отливок.		Способы ликвидации Проработка конструкции отливки на технологичность, соблюдение режимов термообработки, провести модифицирование металла при соблюдении содержания основных элементов, соблюдать правильные режимы транспортировки отливок.			

Глава 2.1. Холодная трещина

Описание дефекта

Дефект представляет разрыв сплошности, часто еле заметный, так как обычно отливка не разделяется на несколько кусков. Геометрия отливки дает основания предположить, что имеет место эффект напряжения при охлаждении. Цвет излома светло-серый.

Формирование трещин

При охлаждении отливок ниже интервала температур 400..500 градусов в их материале преобладают упругие свойства. Трещины, образующиеся в отливках в период преобладания в их материале упругих свойств, называются холодными.

Холодные трещины образуются в зоне растягивающих напряжений и располагаются преимущественно в острых углах и других местах концентрации напряжений. Причиной образования холодных трещин являются остаточные напряжения, возникающие в отливке при ее охлаждении. Кроме того, на образование холодных трещин влияют и временные напряжения.

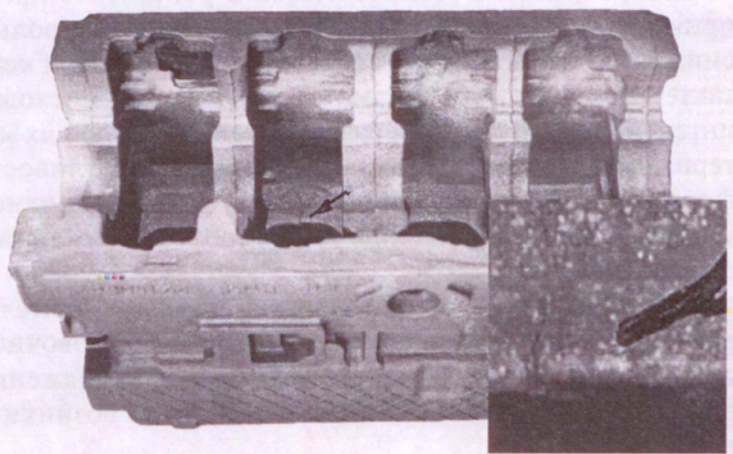


Рис. 2.1.1. Дефект отливки «Холодная трещина»

Холодные трещины, вызываемые остаточными напряжениями, появляются при эксплуатации отливок под воздействием нагрузок значительно меньших, чем расчетные. Практически они могут возникнуть даже без воздействия внешних сил — при очистке, транспортировке или механической обработке. Вероятность образования трещин тем больше, чем меньше прочность или пластичность металла.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Температура заливаемого металла

Сталь

Температура заливаемого металла оказывает влияние на возможность образования горячих и холодных трещин, газовых раковин, пригара, неспая, недолива и других дефектов отливок.

Определение температуры заливки сводится к выбору необходимого перегрева стали, принимаемого сверх температуры начала затвердевания. При изготовлении отливок из углеродистой и низколегированной стали разных марок чаще всего достаточно иметь перегрев стали на 30–60°C, чтобы обеспечить удовлетворительную заполняемость литейных форм. При изготовлении тонкостенных отливок и отливок с повышенными требованиями к неровности поверхности допускается наибольший перегрев стали на 50–100°C (см. 1.2. §7).

Чугун

Повышение температуры заливаемого чугуна на 20–30°C относительно установленной в регламенте предприятия, играет определенную положительную роль в снижении напряженного состояния отливок. При контакте такого чугуна с формой и стержнем происходит интенсивное выгорание и разупрочнение связующих материалов. Это способствует улучшению податливости формы и стержня и, как следствие, более свободной усадке металла и снижению внутренних напряжений в отливке.

Заливка формы более горячим металлом и длительная выдержка отливки в коме нагретой формовочной смеси способствует снижению остаточных напряжений в отливке и значительно снижает опасность возникновения трещин [18].

Трещины от напряжения в отливках блок-картер располагаются в основном в нижних гильзовых поясках средних цилиндров со стороны окон механизма гидро-распределения и не возникает в крайних. На рисунке 2.1.2а, б показана отливка «Блок цилиндров» однорядного двигателя с трещиной в гильзовом пояске (отмечено стрелкой). Дефект отливок был устранён повышением температуры заливки на 10–15°C, оптимизацией

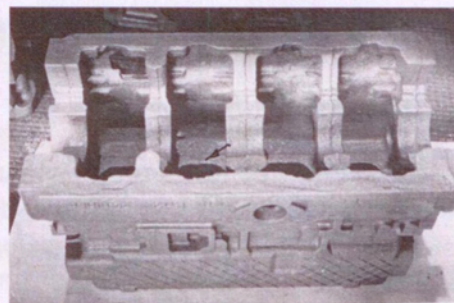


Рис. 2.1.2а. Отливка «Блок цилиндров» с холодной трещиной

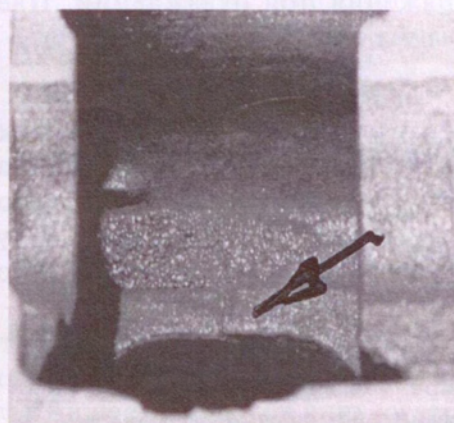


Рис. 2.1.2б. Фрагмент отливки с дефектом (по стрелке увеличено)

состава чугуна (см. раздел 2.1.4), устранением из состава шихты боя изложниц, тормозных колодок, сокращения доли передельных чугунов до 15–20% от металлозавалки и ускорением процесса охлаждения отливки в месте возникновения трещин.

§2. Место подвода питателей

Сталь

После определения типа литниковой системы должно быть выбрано число (таблица 2.1.3) и место подвода питателей к отливке. Для этого рекомендуется:

1. Рассредоточенный подвод металла большим количеством питателей снижает возможность местных разогревов, способствует уменьшению усадки, пористости, горячих и холодных трещин, пригара в районе подвода.
2. Чрезмерное уменьшение сечения питателей увеличивает торможение металла, может вызвать замедленное заполнение формы и сократить полезный эффект от рассредоточенного подвода.
3. Для обеспечения плотности и повышения механических свойств стальных отливок питатели необходимо подводить под прибыль или в массивные части отливок, питаемые прибылью.
4. Подвод металла в вертикально расположенные элементы отливок обеспечивает более высокую плотность, чем в расположенные горизонтально.
5. Для обеспечения заполнения тонкостенных отливок целесообразно подводить металл сверху и располагать особо тонкие стенки вертикально.
6. Количество металла, проходящего через тонкую стенку, число поворотов на пути металла и длина пути в тонкой стенке должны быть минимальными.
7. Не допускать расположения литниковой системы в непосредственной близости от стержневого знака для ликвидации противодавления газа.
8. Избегать расположения питателей около холодильников и жеребеек.
9. Осуществлять одностороннее движение металла в форме.
10. При изготовлении тонкостенных стальных отливок больших габаритных размеров, металл необходимо подавать к тонким стенкам с помощью большого числа питателей.

Таблица 2.1.3. Выбор числа питателей для стальных отливок [1]

Вес отливки, в кг	Преобладающая толщина стенок, в мм		
	15	15–50	50
	Рекомендуемое число питателей		
≤10	1	-	-
10–100	2–5	1–2	1
100–1000	2–8	2–6	1–2
1000	-	3–10	2–6

Для отливок с небольшими толщинами стенок можно пользоваться следующими данными:

Толщина стенки отливки, в мм	5–8	8–12	12–18
Наибольшее количество металла, протекающего через один питатель, в кг	5	15	35

Чугун

При выборе места подвода металла стремятся обеспечить объемное или направленное затвердевание различных частей отливки. Большая часть отливок имеет значительную разницу в скорости охлаждения отдельных частей, что вызывает опасность появления напряжений, трещин, короблений. Для снижения разницы в скоростях охлаждения расплав металла следует подводить в менее массивные части отливок.

Одновременное и равномерное затвердевание и охлаждение отливки достигается не только подводом чугуна в тонкие части отливки, но и соответствующим расположением питателей, обеспечивающим симметричное и равномерное заполнение формы. Подобный подвод чугуна применяют при изготовлении отливок большой протяженности со стенками различной толщины.

Для легкого отделения от отливки питатель должен иметь пережим поблизости от тела отливки. Толщина питателя должна быть не более 0,8 толщины стенки отливки.

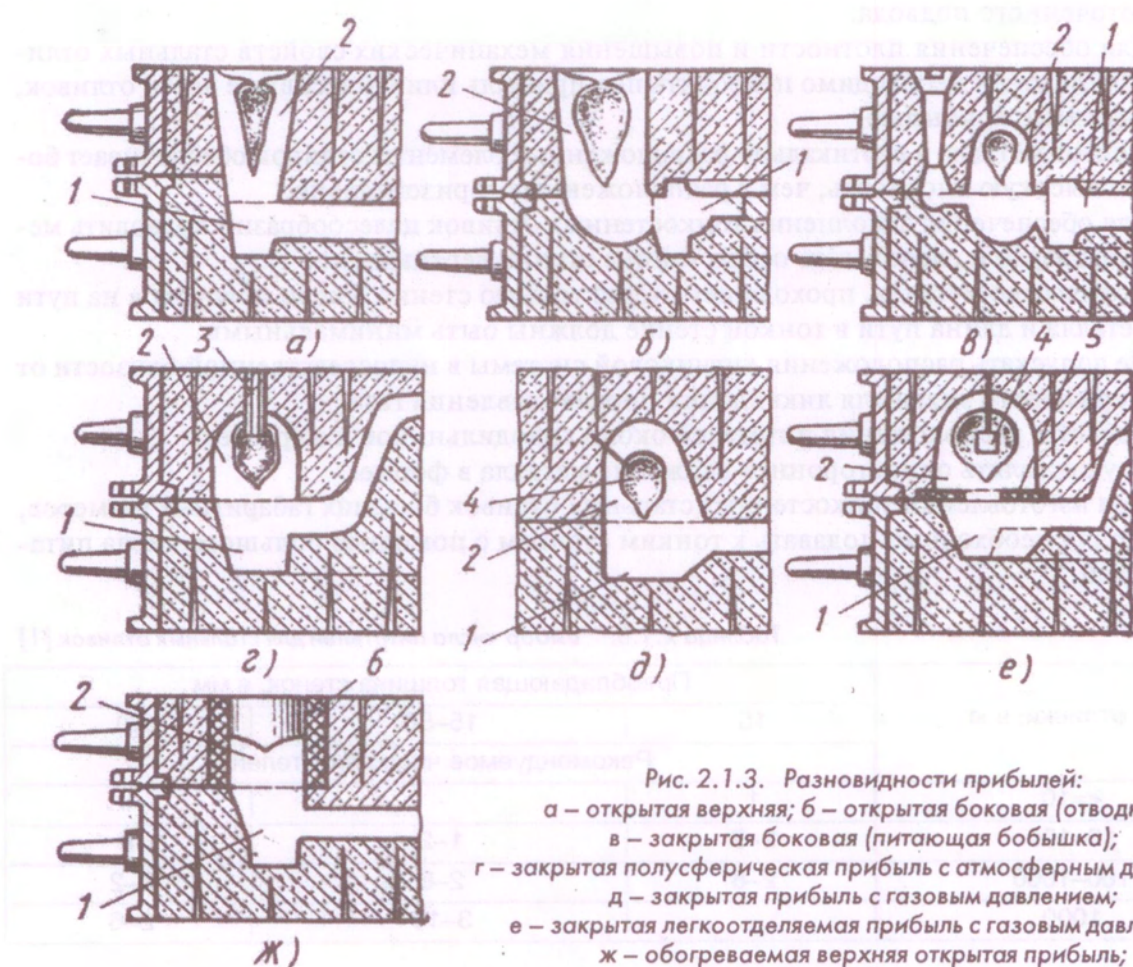


Рис. 2.1.3. Разновидности прибылей:

- а — открытая верхняя; б — открытая боковая (отводная);
- в — закрытая боковая (питающая бобышка);
- г — закрытая полусферическая прибыль с атмосферным давлением;
- д — закрытая прибыль с газовым давлением;
- е — закрытая легкоотделяемая прибыль с газовым давлением;
- ж — обогреваемая верхняя открытая прибыль;

- 1 — массивная (питаемая) часть отливки; 2 — прибыль;
- 3 — песчаный стержень с каналом для подвода атмосферного давления в среднюю часть прибыли;
- 4 — керамический патрон с зарядом газоотводного вещества (например, мела);
- 5 — керамическая или стержневая разделительная пластина между прибылью и массивной частью отливки;
- 6 — песчаная втулка с термореактивной смесью (экзотермической), оформляющая прибыль и обеспечивающая подогрев в ней металла

Прибыли служат для питания термических узлов стальных и чугунных отливок и располагаются сверху, сбоку или в нижней части отливки (см. таблицу 2.1.3). При установке прибылей надо руководствоваться следующими правилами:

- продолжительность затвердевания прибыли должна превышать продолжительность затвердевания питаемой части отливки;
- если термические узлы располагаются через стенку отливки, то у каждого узла должна быть своя прибыль;
- прибыль должна затвердевать последней, обеспечивая постоянную подпитку отливки;
- объем прибыли должен быть таким, чтобы усадочная раковина не достигала шейки прибыли;
- шейка должна быть, по возможности, короткой и иметь скругленное сечение. При подсоединении к плоским отливкам толщина шейки принимается равной 0,6–0,8 толщины отливки; очень эффективно облицевать шейку прибыли материалом с низким коэффициентом теплоаккумуляции (примерно равным $150\text{--}180\text{ Вт} \cdot \text{с}^{0,5}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$);
- следует учесть, что самый горячий металл должен быть в прибыли, поэтому её надо утеплять и подавать в нее, по возможности, горячий металл;
- наиболее эффективная работа прибыли обеспечивается принципом направленного затвердевания. Для этого прибыль надо обогревать, а отдаленные от прибыли части отливки охлаждать [38].

Трещина от напряжения в ободе отливки представлена на рисунке 2.1.4. Дефект является следствием нерациональной конструкции литниковой системы, вызывающей неравномерный разогрев и последующее охлаждение обода, пониженной (менее 1320°C) температуры заливки. Трещина обнаруживается при дробеметной очистке или галтовке. Дефект устраняется рассредоточением питателей, повышением температуры заливки и снижением в чугуне содержания Cr, Mn и Si при одновременном увеличении содержания углерода. В отдельных случаях ликвидировать светлые трещины от напряжений можно только введением операции искусственного старения.



Рис. 2.1.4. Отливка «Маховик» с трещиной на ободе

§3. Наружные и внутренние холодильники

Регулирование скорости охлаждения тепловых узлов отливки производится с помощью внутренних и наружных холодильников. Установка холодильников ускоряет охлаждение тепловых узлов, что часто бывает необходимо для обеспечения направленного или одновременного затвердевания отливки. Ускоряя охлаждение узла, холодильник предотвращает образование в нем усадочной раковины, так как узел успевает пропитаться за счет позднее затвердевающих частей отливки. Использование холодильников в массивных сечениях отливок для выравнивания скорости охлаждения, может привести к уменьшению внутренних напряжений, снижению коробления отливки и опасности образования трещин.

Внутренние холодильники устанавливаются в форму при ее сборке. Они развариваются или расплавляются и остаются в теле отливки. По своему химическому составу внутренние холодильники должны соответствовать составу отливки.

На рисунке 2.1.5 представлены зависимости диаметров внутренних холодильников от толщины стенок для X-, T- и L-образных сопряжений, построенных путем расчета. Расчетные показатели проверялись [25] серий исследований на стальных отливках с различными толщинами стенок, имевших X-, T- и L-образных сопряжений.

На рис. 2.1.6 представлены фотографии рентгенограмм отливок X-образных сопряжений при толщине стенки 10 мм, с холодильниками различных размеров. Кривые рис. 2.1.5 показывают, что в этих условиях достаточен холодильник диаметром 7,5 мм. Как видно из рентгенограмм (рис. 2.1.6в), отливка с таким холодильником не имеет раковин, узел совершенно плотный. В другой отливке (рис. 2.1.6г) установленный холодильник слишком велик; он не сварился и даже вызвал образование усадочных дефектов в стенках, не питаемых прибылью, благодаря их преждевременному обособлению.

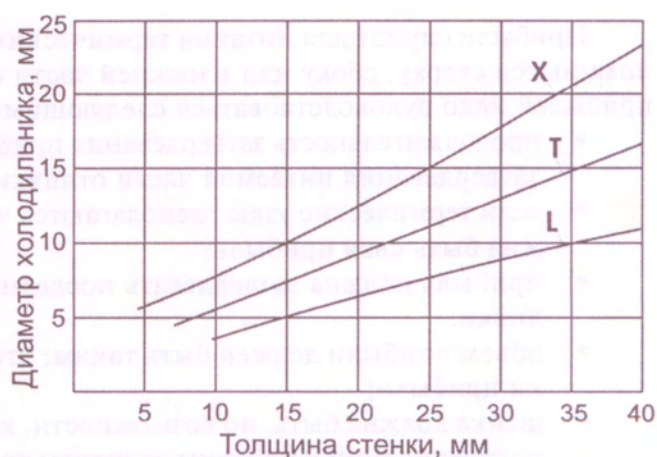


Рис. 2.1.5. Зависимость диаметров внутренних холодильников от толщины стенок X-, T- и L-образных сопряжений

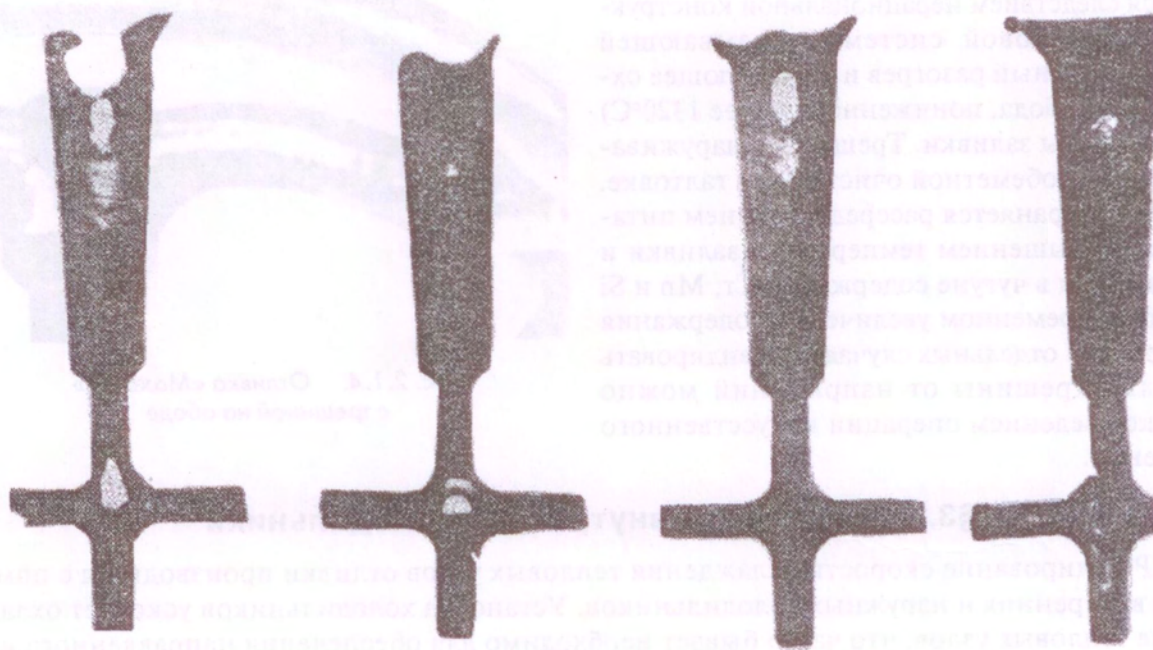


Рис. 2.1.6. Рентгенограммы темплетов из X-образных сопряжений стальных отливок толщиной стенок 10 мм:

а — без холодильников; б — диаметр холодильников 4,2 мм; в — диаметр холодильников 7,9 мм; г — диаметр холодильников 10,0 мм

CONTINUATION

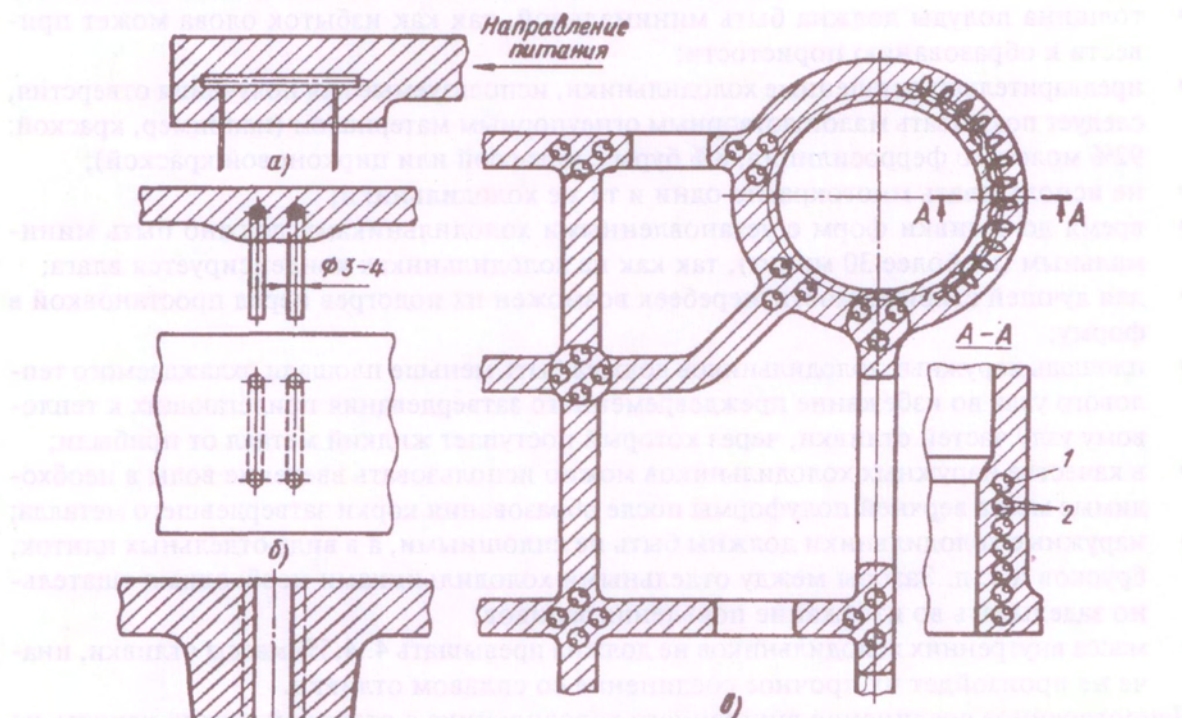


Рис. 2.1.7. Примеры применения внутренних холодильников в тепловых узлах отливок:

а — цилиндрических холодильников; б — холодильников типа скобы;
в — спиральных холодильников 1, с прутками-сердечниками 2;
г — холодильника, высверленного при механической обработке отливки

Влияние наружных холодильников на толщину отвержденного слоя стали марки 35Л в зависимости от времени охлаждения можно проследить в разделе 1.8. §11.

Наружные холодильники делаются чаще всего из стали, а фасонные — отливаются из чугуна (см. рис. 2.1.8). Наибольшая применяемая толщина плоских наружных холодильников обычно не превышает 70 мм, наибольший диаметр крупных наружных холодильников из прутка — 40–45 мм [7].

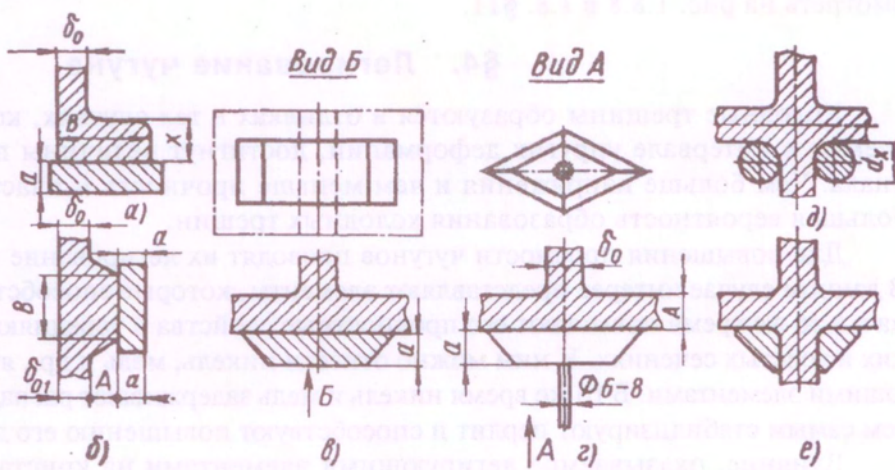


Рис. 2.1.8. Пример применения местных наружных холодильников:

а, б – плоского прямоугольного; в – плоского со срезом;
г – плоского ромбического; д – цилиндрического; е – фасонных

При использовании холодильников рекомендуется:

- поверхность холодильников, жеробек, арматуры следует очищать от ржавчины, масла и других газотворных веществ, подвергать лужению или гальваническому покрытию;
- толщина полуды должна быть минимальной, так как избыток олова может привести к образованию пористости;
- предварительно очищенные холодильники, используемые для получения отверстия, следует покрывать малогазотворным огнеупорным материалом (например, краской: 92% молотого ферросилиция, 8% буры с мелассой или цирконовой краской);
- не использовать многократно одни и те же холодильники;
- время до заливки форм с установленными холодильниками должно быть минимальным (не более 30 минут), так как на холодильниках конденсируется влага;
- для лучшей свариваемости жеробек возможен их подогрев перед простановкой в форму;
- площадь наружных холодильников должна быть меньше площади охлаждаемого теплового узла во избежание преждевременного затвердевания прилегающих к теплового узлу частей отливки, через который поступает жидкий металл от прибыли;
- в качестве наружных холодильников можно использовать введение воды в необходимые места верхней полуформы после образования корки затвердевшего металла;
- наружные холодильники должны быть не сплошными, а в виде отдельных плиток, брусков и т. д. Зазоры между отдельными холодильниками необходимо тщательно заделывать во избежание появления заливов;
- масса внутренних холодильников не должна превышать 4..4,5% массы отливки, иначе не произойдет их прочное соединение со сплавом отливки.

Непроваренное соединение внутреннего холодильника с отливкой можно увидеть на рисунке 2.1.9. Расплавление холодильника заливаемым металлом не произошло в результате некачественной обработки поверхности холодильника и его увеличенного размера (расчет объема холодильника не выполнялся).

На рис. 2.1.10 представлены примеры охлаждения термических узлов отливок внутренними холодильниками. Примеры использования внешних холодильников можно посмотреть на рис. 1.8.8 в 1.8. §11.

§4. Легирование чугуна

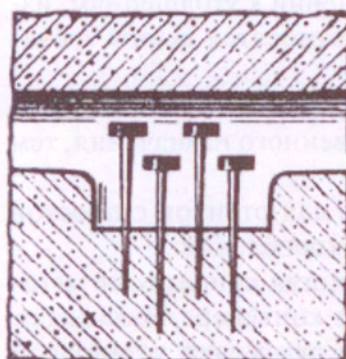
Холодные трещины образуются в отливках в тех случаях, когда напряжения, развиваемые в интервале упругих деформаций, достигнут величины предела прочности материала. Чем больше напряжения и чем меньше прочность и пластичность материала, тем большая вероятность образования холодных трещин.

Для повышения прочности чугунов проводят их легирование различными элементами. В данном случае интерес представляют элементы, которые способствуют графитизации чугуна и в то же время повышают его прочностные свойства и усредняют свойства металла в тонких и толстых сечениях. К ним можно отнести никель, медь и др., являющиеся графитизирующими элементами. В то же время никель и медь задерживают распад эвтектоидных карбидов, тем самым стабилизируют перлит и способствуют повышению его дисперсности.

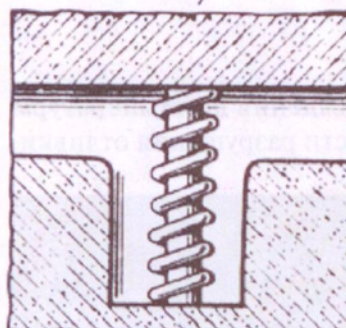
Влияние, оказываемое легирующими элементами на кристаллизацию чугуна, должно обеспечивать повышение механических свойств. Никель и медь, при одновременном способствовании графитизации, также увеличивают прочность. Но их основная роль связана с одновременным повышением дисперсности перлита и выравниванием свойств в тонких и толстых сечениях отливки.



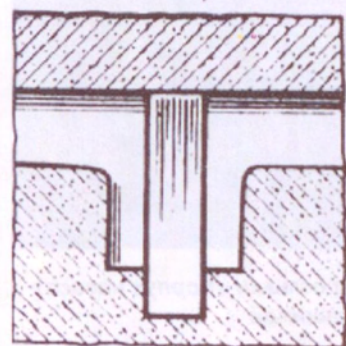
Рис. 2.1.9. Фрагмент отливки с неспаянным внутренним холодильником



а)



б)



в)

Рис. 2.1.10. Примеры охлаждения бобышек внутренними холодильниками: а) гвоздями; б) проволоочной спиралью; в) прутком

К наиболее активному элементу, способствующему графитизации и одновременно активно участвующему в образовании карбидов, нитридов, окислов, следует отнести титан. Тугоплавкие включения, образующиеся еще в жидком расплаве, могут служить центрами кристаллизации графита.

Проведенные под руководством доктора технических наук Ильинского В.А. исследования показали [28], что обычный

серый чугун с пластинчатым графитом обладает наилучшей трещиноустойчивостью при содержании углерода 3,4–3,6% и кремния в пределах 1,8–2,1%. Однако прочностные свойства такого чугуна невысоки. Комплексным легированием этого чугуна никелем, медью и титаном в количестве 0,3; 0,3 и 0,12% соответственно, удалось повысить прочностные свойства с 170–180 МПа до 220–250 МПа и получить низколегированный чугун, максимально противостоящий разрушению от действия остаточных напряжений.

Состав чугуна в % массы: углерод 3,3–3,6; кремний 1,75–2,1; марганец 0,65–0,80; никель > 0,1; хром менее 0,15; медь 0,25–0,4; титан 0,06–0,12.

§5. Заливка форм металлом

Время заливки формы сталью

Время заливки зависит от размеров и особенностей конструкции отливки, литейных свойств определенной стали, теплоаккумулирующих свойств материала формы и др. Для получения тонкостенных отливок, имеющих сочленения различных по толщине стенок, необходимо уменьшить время заливки, чтобы не допустить образование трещин. При изготовлении же отливок, склонных к образованию подкорковых газовых пузырей, требуется увеличить время заливки для свободного удаления газа из полости формы (см. 1.4. §9).

Скорость заливки чугуна

Для получения качественного литья очень важными являются температура заливаемого чугуна и весовая скорость заливки. Это продиктовано конструкцией отливок и технологией их изготовления (см. 1.4. §9).

§6. Обычное и регулируемое охлаждение отливок

Сталь

При неравномерном остывании отливки в форме температура не может быть одинаковой в различных местах её объема. Чем больше разница в толщинах стенок одной и той же отливки,

тем больше перепад температур и тем больше величины напряжений. Длительность охлаждения отливок определяется температурой нагрева стали, теплоаккумуляцией формовочных материалов, конструкцией отливки и её склонностью к образованию трещин и т.д. Чем тоньше средняя толщина стенки отливки или её приведённая толщина, тем скорее она остынет и тем раньше её можно выбивать из формы. Но чем больше толщина отливки, тем дольше время остывания и тем позже можно начинать выбивку [22].

Главной причиной осторожного выбора температуры извлечения стальных отливок является предотвращение образования холодных трещин. Безопасная температура извлечения отливок неответственного назначения может быть доведена до 900°C (светло-красное каление). К ним относятся копровые бойки, настильные плиты, грузы для опок и др. Наоборот, детали тонкостенные, с резким переходом от тонких сечений к утолщениям, извлекают при более низкой температуре, не выше 100°C. К ним относятся венцы зубчатых шестерней, детали колёсного типа, ребристые панели и др.

На температуру извлечения оказывают влияние следующие факторы:

- 1) чем больше неравномерность охлаждения отливок ответственного назначения, тем ниже должна быть температура извлечения их из форм;
- 2) повышенные температуры извлечения можно применять для отливок с простой конфигурацией, не склонных к холодным трещинам или короблению.

Для сокращения продолжительности охлаждения отливок иногда используют методы принудительного охлаждения. Например, формы, залитые на конвейере, охлаждают обдувкой их воздухом в специальных тоннелях; крупные отливки охлаждают установкой в форму змеевиков или труб, по которым пропускают воздух или паровоздушную смесь; использованием холодильников и захолаживающих смесей.

Чугун

После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки. Высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения её качества. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и возникновению в отливке высоких остаточных напряжений. Однако с экономической точки зрения выбивку стремятся провести при максимально допустимой высокой температуре [37].

Опыт работы литейных цехов показывает, что без ущерба для качества чугунные отливки можно извлекать из формы при следующих температурах:

- 700–800°C — мелкие отливки;
- 400–500°C — средние отливки;
- 300–400°C — крупные массивные;
- 200–300°C — сложные отливки, склонные к образованию трещин.

Продолжительность выдержки отливки в форме определяется толщиной её стенки, свойствами залитого сплава и литейной формы, температурой выбивки.

Для сокращения продолжительности охлаждения отливок из чугуна, используются те же методы принудительного охлаждения, что и для стали.

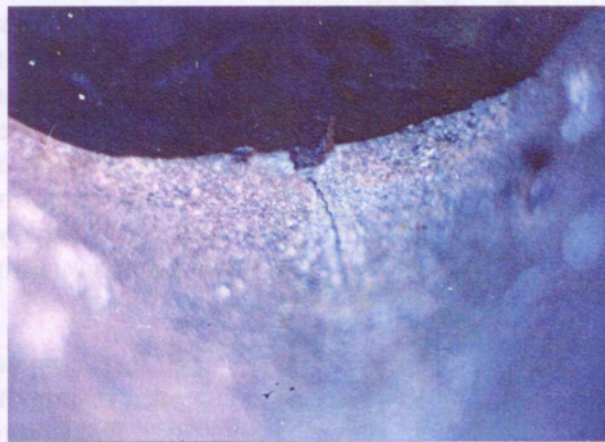


Рис. 2.1.11. Фрагмент отливки «Корпус насоса» с трещиной

Рекомендации при регулируемом охлаждении:

1. Для снижения напряжения при помощи регулируемого охлаждения отливок в форме необходимо руководствоваться следующими правилами:
 - во время первого охлаждения, в диапазоне пластических деформаций, охлаждение толстых стенок отливки должно происходить быстрее, чем тонких;
 - при переходе в область упругих деформаций, обычно при температурах между 700–750 градусов, скорость охлаждения толстых стенок нужно резко снизить. При прохождении этого диапазона и ниже его, температурные различия между толстыми и тонкими стенками должны быть доведены до минимума;
 - при температуре ниже 400 градусов целесообразно ускорить охлаждение одновременно толстых и тонких стенок отливки.
2. Внешние стенки отливки, склонные к образованию остаточных напряжений, должны быть толще внутренних. По этим же соображениям целесообразно кромки стенок с большой площадью поверхности утолщать буртом. То же относится к краям больших проемов в стенках отливок.
3. С целью выравнивания скоростей охлаждения различных участков отливки применяют подогрев формы или специальные низкотеплопроводные и экзотермические формовочные смеси для облицовки тонких стенок отливки [23].
4. Резкое охлаждение толстых стенок отливки в области упругих деформаций можно выполнить введением порций воды, паровоздушной смеси в специальные полости формы или облицовкой смесями с высоким коэффициентом теплоаккумуляции [3].

Ранняя выбивка отливок может привести к образованию трещин или возникновению в отливке высоких остаточных напряжений. На рисунке 2.1.11 представлен фрагмент отливки «Корпус насоса» с окисленной трещиной со стороны стержня. Для ускорения производственного цикла отливки были извлечены из формы при температуре металла около 700°C. В результате соударения с другими отливками при загрузке в тару, образовалась рассматриваемая трещина.

§7. Низкотемпературный отжиг чугуна

Важным мероприятием является стабилизация внутренних напряжений в отливке, что достигается процессом, называемым старением. Различают естественное и искусственное старение [45]. Естественное старение состоит в длительном вылеживании отливок на открытом воздухе с чередованием частичной механической обработки. Искусственное старение, называемое низкотемпературным отжигом, является наиболее распространенным. Низкотемпературный отжиг отливок из серого чугуна состоит из их нагрева, выдержки при температуре 400–600 градусов и медленного охлаждения вместе с печью. Загрузка отливок производится как в холодную, так и в нагретую до 200–300 градусов печь. Скорость повышения температуры в печи — 50–150 градусов в час до достижения температуры выдержки. Чем выше температура и больше продолжительность выдержки отливок в печи, тем меньше величина остаточных напряжений. Оптимальная температура нагрева отливок из серого чугуна 520–570 градусов с выдержкой в течение 2–3 часов и охлаждением со скоростью 10–30 градусов в час вместе с печью до 350 градусов. Далее скорость охлаждения можно увеличить до 60 градусов в час. Выгрузку отливок из печи следует производить при температуре не выше 100–150 градусов.

- назначение отжига — снятие внутренних напряжений, повышение вязкости, стабилизация размеров детали, снижение деформации;
- исходная структура основной массы до отжига — П-ФЕ; П. Конечная структура не изменяется;

- скорость нагрева отливок — 70...100 градусов в час;
- температура нагрева — 500—600 градусов, легированных чугунов — до 630 градусов;
- продолжительность выдержки в печи, в зависимости от конфигурации детали и габаритных размеров отливки — 2...8 часов;
- охлаждение — медленное, с печью, 20...50 градусов в час до 250 градусов.

Брак по трещинам в отливках «Блок-картер» на одном из литейных заводов выявлялся, в основном, в литейном цехе после финишной обработки, ещё до операции искусственного старения (низкотемпературный отжиг). Если трещина образовалась после термообработки в процессе механической обработки, то можно говорить либо о нарушении режима термообработки, либо о её отсутствии у данной детали. На рисунке 2.1.12 представлен фрагмент такой отливки с трещиной от напряжения в гильзовом пояске.

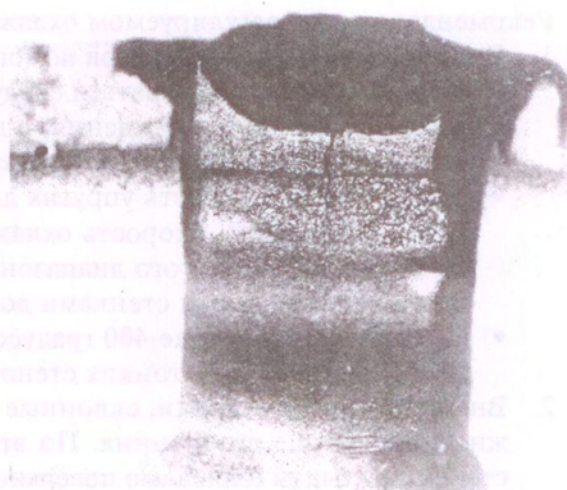


Рис. 2.1.12. Фрагмент отливки «Блок-картер»

§8. Упрочняющие и охлаждающие рёбра

При конструировании отливок необходимо стремиться к получению равномерной толщины их стенок во избежание образования тепловых узлов, способствующих возникновению усадочных раковин и трещин.

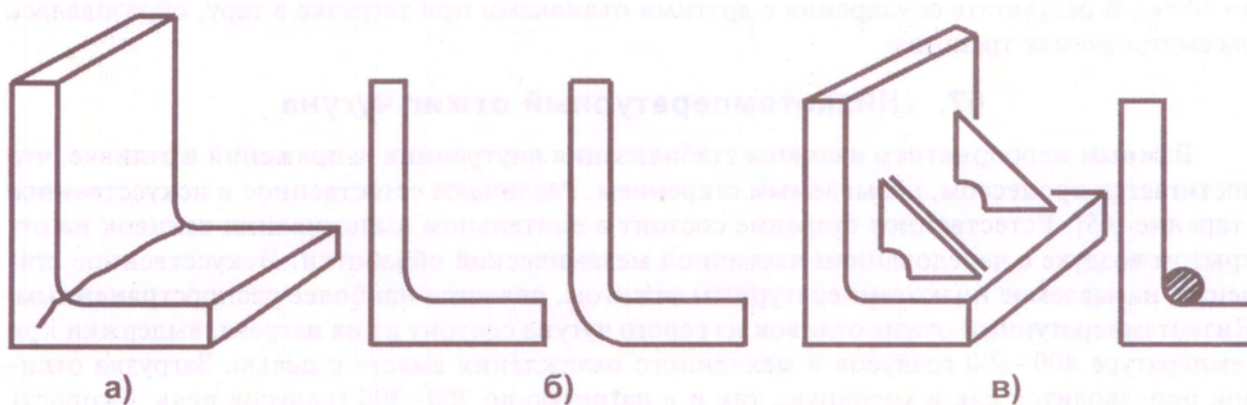


Рис. 2.1.13. Упрочнение и охлаждение термического узла отливки:

а — горячая трещина в остром углу; б — закругления; в — тонкие ребра и наружный холодильник

На рис. 2.1.13 представлен ряд угловых соединений стенок [32]. На рис. 2.1.13а показана горячая трещина в месте соединения стенок (в термическом узле).

Для ликвидации этого дефекта предлагается ряд приемов:

- скругление наружного угла соединения стенок галтелью для разрядки термического узла — (б);
- установка ребер для охлаждения термического узла и повышения его жесткости — (в);
- использование наружного холодильника — (в).

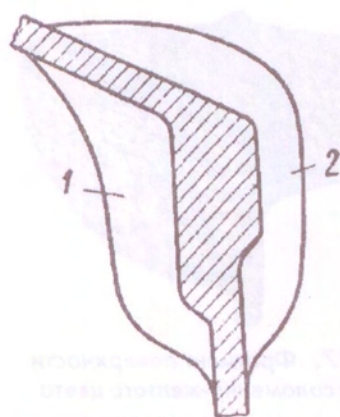


Рис. 2.1.14. Упрочнение и охлаждение термического узла отливки:

1 – внешние ребра;
2 – внутренние ребра

Холодная трещина от напряжения во фланцевой части отливки представлена на рисунке 2.1.15. Дефект является следствием неэффективной конструкции отливки, создающей в Т-образном сечении термический узел. При температуре в районе 500°C произошла релаксация возникшего напряжения в термическом узле с образованием трещины. На температурный режим образования трещины указывает темно-серый цвет её поверхности.



Рис. 2.1.15. Фрагмент отливки «Ступица» с трещиной

§9. Цвет поверхности холодных трещин в чугуне

В процессе исследования трещин замечено, что поверхность их бывает разных цветов: от серого через соломенно-желтый, сине-фиолетовый, темно-серый и темно-серый с коричневыми налетом [28]. Установлено, что цвет поверхности излома зависит от температуры возникновения трещины на определенных этапах охлаждения. Иногда поверхность трещины может иметь несколько оттенков, от сине-фиолетового до темно-серого, от соломенно-желтого до сине-фиолетового и т.д. Серый цвет излома обычно получается при низкой температуре на участке очистки и т.д. Появление отливок с другой цветовой гаммой излома происходит в процессе охлаждения, выбивки или соударения в горячем состоянии. По цвету поверхности и температуре технолог может без особых затруднений определить место возникновения трещины в технологической цепочке изготовления отливки и принять меры по ее ликвидации.

Особые признаки «трещины холодной», образованной при температуре менее 190 градусов

При охлаждении чугунных отливок ниже температуры 190 градусов в их материале преобладают упругие свойства. Трещины, образующиеся в отливках в период преобладания в их материале упругих свойств, называются холодными. Цвет излома светло-серый (рис. 2.1.16).

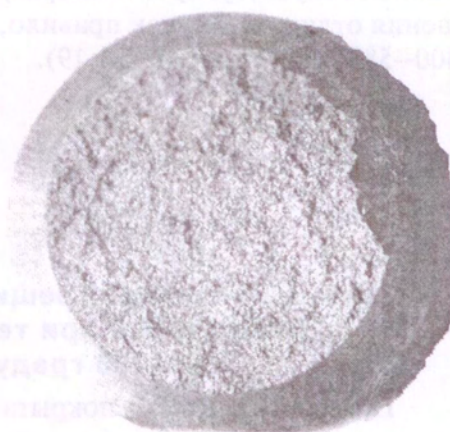


Рис. 2.1.16. Фрагмент поверхности трещины светло-серого цвета

**Особые признаки «трещины холодной»,
образованной при температуре
190–200 градусов**

Поверхность излома покрыта окислами, имеющими соломенно-желтый цвет вследствие образования разрыва в нагретом состоянии. В первом приближении цвет трещин надежно характеризует температурный интервал разрушения отливок. Он, как правило, находится в пределах 190–220 градусов. В связи с недостатком в форме кислорода и плотно сжатыми краями трещины, фактическая температура разрушения оказывается всегда несколько выше (рис. 2.1.17).



Рис. 2.1.17. Фрагмент поверхности трещины соломенно-желтого цвета

**Особые признаки «трещины холодной»,
образованной при температуре
320–370 градусов**

Поверхность излома покрыта окислами, имеющими сине-фиолетовый цвет вследствие образования разрыва в нагретом состоянии. В первом приближении цвет трещин надежно характеризует температурный интервал разрушения отливок. Он, как правило, находится в пределах 320–370 градусов (рис. 2.1.18).

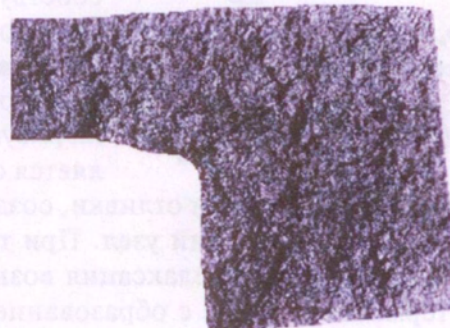


Рис. 2.1.18. Фрагмент поверхности трещины сине-фиолетового цвета

**Особые признаки «трещины холодной»,
образованной при температуре
400–580 градусов**

Поверхность излома покрыта окислами, имеющими темно-серый цвет вследствие образования разрыва в горячем состоянии. В первом приближении цвет трещин надежно характеризует температурный интервал разрушения отливок. Он, как правило, находится в пределах 400–580 градусов (рис. 2.1.19).

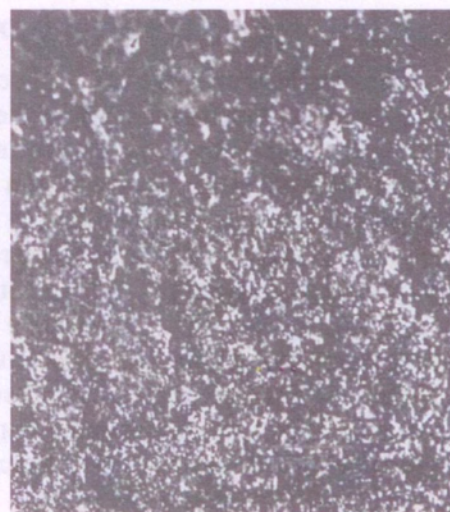


Рис. 2.1.19. Фрагмент поверхности трещин темно-серого цвета

**Особые признаки «трещины холодной»,
образованной при температуре
600–750 градусов**

Поверхность излома покрыта окислами, имеющими темно-серый цвет с коричневым налетом вследствие образования разрыва в горячем состоянии при температуре 600–750 градусов (рис. 2.1.20).



Рис. 2.1.20. Фрагмент поверхности трещин темно-серого цвета с коричневым налетом

§10. Податливость формовочных смесей и стержней

Для уменьшения остаточных напряжений, обусловленных механическим сопротивлением отдельных участков формы и стержней, необходимо стремиться к увеличению их податливости. Некоторые рекомендации:

1. Податливыми должны быть части формы и стержни, образующие внутренние полости отливки.
2. Увеличения податливости формы и стержней можно достигнуть:
 - заменой сухих форм и стержней сырыми;
 - максимальным понижением прочности смесей при высоких температурах;
 - уменьшением толщины слоя плотно набитой смеси;
 - введением в состав смеси древесных опилок или муки, вермикулита и других разрыхляющих добавок;
 - разрушение смеси должно происходить, по возможности, при более низких температурах и в максимально короткий срок.
3. Снизить содержание глины в смесях до уровня возможного.
4. В крупных стержнях предусмотреть полости, которые при необходимости можно засыпать песком, формовочной смесью и другими материалами.
5. При изготовлении крупных отливок проводить местное разрыхление смеси вокруг опасных (с точки зрения образования трещин) участков.

При большой степени уплотнения формовочной смеси возникают значительные напряжения в отливке. В процессе выбивки, очистки или транспортировки таких отливок возможно появление трещин. На рисунке 2.1.21 представлена отливка «Корпус печной дверцы» с трещиной от плотной набивки болвана.



Рис. 2.1.21. Отливка «Корпус печной дверцы» с холодной трещиной

§11. Технологичность отливок

Разница в толщинах стенок

Образование трещин связано с возникновением напряженного состояния в стенках отливок. Если отливка имеет сопряжение разных по толщине стенок, то возникает опасность создания значительного напряжения, вызывающего, в ряде случаев, образование холодной трещины.

При конструировании отливки надо стремиться к получению минимальной разницы толщин сопрягаемых стенок. Если по конструктивным соображениям избежать этого нельзя, то следует выполнить правильный переход от толстых к массивным частям, как показано на рис. 2.1.22 [53], и при литье использовать холодильники

Все угловые сопряжения стенок выполняют с помощью внешних и внутренних радиусов закруглений.

При различной толщине сопрягаемых стенок, если соотношение их толщин меньше 1,75, переходы выполняются радиусом закруглений из разных центров. Наружный радиус принимают равным $1/2$ суммы толщин сопрягаемых стенок, а внутренний радиус — $1/4$

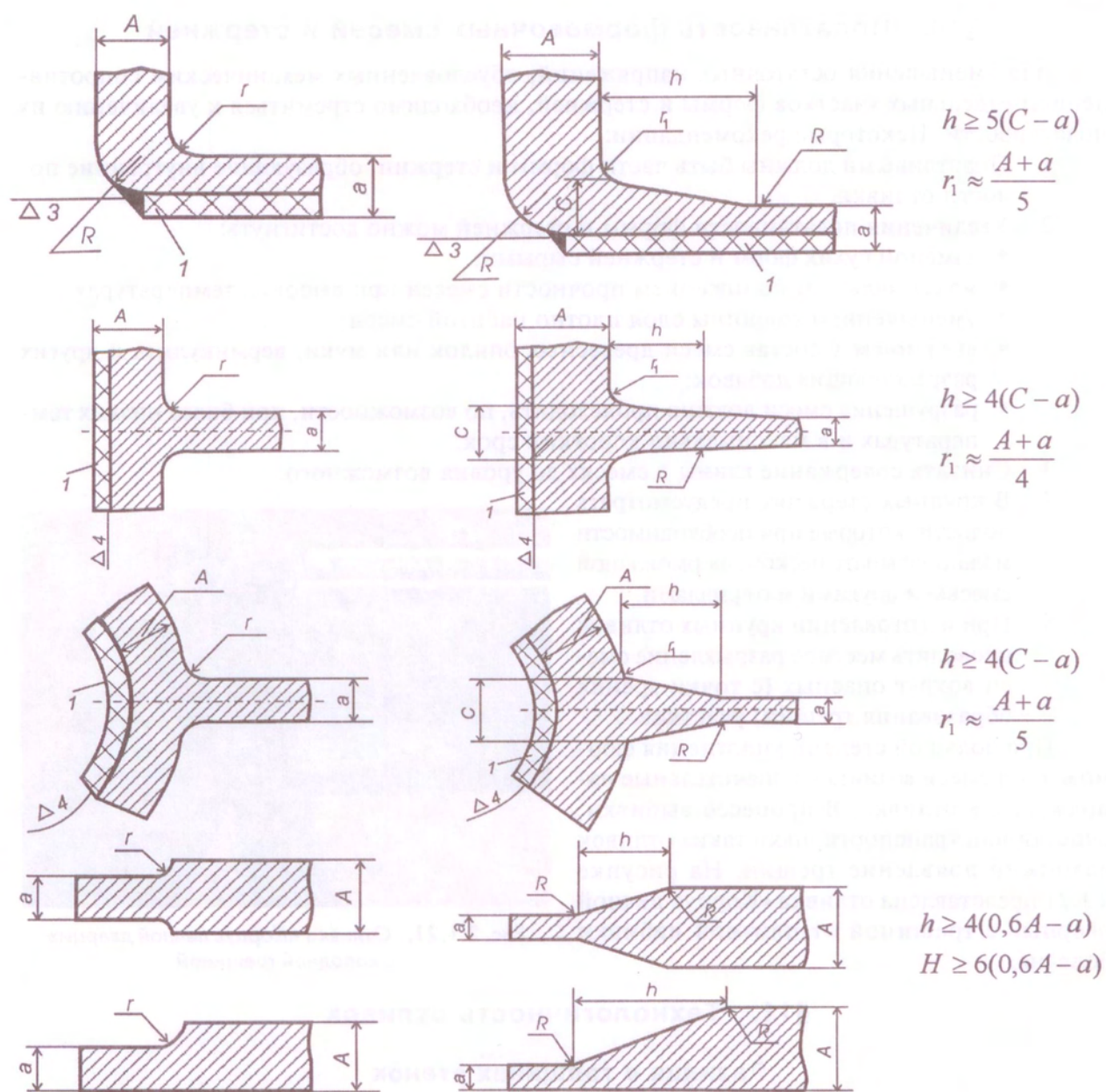


Рис. 2.1.22. Рекомендуемые переходы от массивных к тонким сечениям отливок

при соотношении толщин стенок: $a - A/a \leq 1,75$; $b - A/a \geq 1,75$;

$$(C \approx 0,6A; r \approx \frac{A+a}{4}; R \approx \frac{A+a}{2}); 1 - \text{холодильник}$$

суммы толщин сопрягаемых стенок. Если соотношение толщин сопрягаемых стенок более 1,75, то переход рекомендуется выполнять с помощью сочетания клина с галтелью. Припуски на обработку должны включаться в толщину стенок.

Сопряжение стенок под острым углом

Конструктивная прочность отливок, в значительной мере, зависит от радиусов закругления и концентрации напряжений, что особенно важно при работе отливок на ударную нагрузку. Неудачное сочленение стенок и оформление углов часто приводят к образова-

нию местных скоплений металла, сопровождающихся образованием раковин и рыхлот.

Практикой установлено, что при сочленении стенок неудачным является образование между ними острых углов. Если в местах сочленения получается скопление металла, то в сечении основной отливки делают впадину. Сочленение стенок с различными толщинами и с оформлением углов рекомендуется делать так, как это показано на рисунке 2.1.23 [39].

При конструировании отливок следует избегать острых внутренних углов, так как скорость их затвердевания, вследствие слабого отвода тепла через внутренние стенки формы, очень мала. Поэтому, в вершине внутреннего угла толщина стенки может быть на 20-25% меньше, чем толщина сочленяемых стенок.

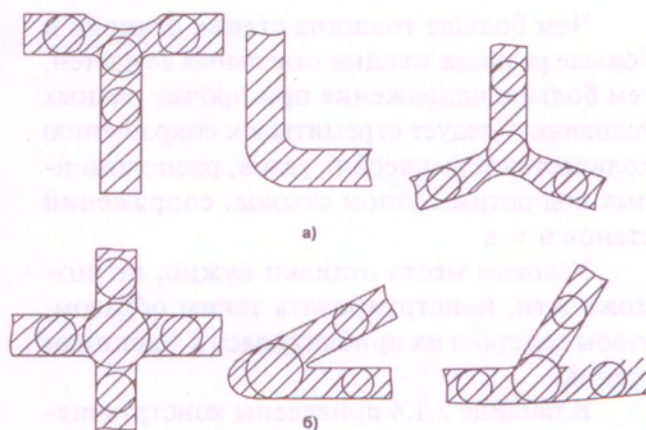


Рис. 2.1.23. Примеры сочленения стенок отливки:
а – правильно; б – неправильно

Термические узлы

Для ликвидации трещин важным является обеспечение условий одновременного затвердевания и остывания стенок отливок при отсутствии на их пересечении термических узлов.

Таблица 2.1.4

Сопряжение	Обозначение	Рекомендуемое решение	Обозначение
	Х		Шахматное Т-образное
	Т		Т-образное улучшенное
	К		К-образное улучшенное

Чем больше толщина стенок отливки и больше разница толщин отдельных ее частей, тем больше напряжение при прочих равных условиях. Следует стремиться к сокращению количества термических узлов, расположенных под острым углом стыков, сопряжений стенок и т. д.

Узловые места отливки нужно, по возможности, конструировать таким образом, чтобы толщина их приближалась к толщинам стенок.

В таблице 2.1.4 приведены конструктивные решения по разрядке термических узлов [32]. Эти и вышеописанные конструктивные решения целесообразно использовать при разработке технологии изготовления отливки в период отработки чертежного варианта детали.

Холодная трещина от напряжения ступицы колеса представлена на рисунке 2.1.24. Дефект может быть устранён изменением конструкции отливки, а именно поворотом спиц ступицы вокруг своей оси на 90°.



Рис. 2.1.24. Отливка «Колесо КЦ» с холодной трещиной

§12. Разное, или Советы бывалого

1. Чем больше степень уплотнения формовочной смеси, тем больше напряжение в отливке и тем меньше деформация смеси. Увеличение податливости формовочной смеси является эффективным средством понижения напряжений и уменьшения опасности появления трещин в отливках. Сырая форма более податлива, чем сухая, и обуславливает более низкие напряжения в отливке, чем сухая.
2. При возрастании длины отливки наблюдается значительный рост напряжений и небольшое увеличение деформации формы. Следовательно, уменьшение длины отливки путём расчленения её на части, является эффективным мероприятием по борьбе с трещинами.
3. Чем больше габариты отливки, тем равномернее надо обогревать стенки формы, например, вводом металла через большое число питателей. Сосредоточение тепла вблизи одного питателя увеличивает перепад температур между объёмом отливки вблизи питателя и соседними тонкими частями и служит причиной образования холодных трещин.
4. Чем выше пластические свойства металла, тем ниже возможность образования холодных трещин. Целесообразно легирование серого чугуна осуществлять малыми добавками Cu и Ni и осуществлять контроль за тем, чтобы содержание хрома в металле не превышало допустимые по ТУ пределы [28].



Глава 2.2. Трещина термическая

Описание дефекта

Разрыв сплошности в виде трещины, заметной невооруженным глазом. Трещина имеет острые края и может быть поверхностной или проходить по всему поперечному сечению. Стенки трещины, вследствие окисления при нагреве, окрашены.

Формирование трещины

При термической обработке различных видов, в том числе и отжиге, в отливке могут возникнуть временные температурные напряжения.

Увеличению этих напряжений способствует:

- неравномерный нагрев отливки;
- резкий нагрев или охлаждение отливки;
- возникновение разницы температур между стенками малого сечения и более массивными, между наружными и внутренними зонами, остаточными напряжениями в отливке. Если величина суммарных напряжений превысит предельные значения прочности или пластичности материала отливки, в ней могут образоваться трещины.



Рис. 2.2.1. Фрагмент отливки «Колесо» с термической трещиной

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Напряжения в отливке

В процессе выполнения термической обработки в отливке могут возникнуть временные температурные напряжения, обусловленные нагревом разных участков отливки с разной скоростью. При достижении температурных напряжений уровня критических для конкретного металла, в нём могут возникнуть термические трещины. Одновременно на это влияют геометрия самой отливки и структура металла в тонких и толстых стенках, увеличивая или уменьшая опасность трещинообразования [45].

Для снижения напряжённого состояния в отливке при термообработке необходимо вести нагрев с меньшей скоростью и с выдержкой для выравнивания температур. Холодные отливки следует укладывать в горячую печь. Плотная укладка отливок приводит к интенсивному разогреву наружных частей отливок и медленному нагреву внутренних, что способствует возникновению дополнительных напряжений. Следовательно, отливки нельзя укладывать очень плотно. Конструкция печи и укладка отливок должны обеспечивать свободную циркуляцию газов между различными частями всех отливок.

Отжиг в течение 6 часов при температуре 550°C уменьшает остаточные напряжения на 90%. Для снятия напряжений важнее повышение температуры отжига, чем увеличение

его длительности, однако при этом возможно снижение механических свойств.

Внутренняя термическая трещина, обнаруженная после механической обработки направляющей станины, представлена в виде фрагмента отливки на рисунке 2.2.2. Образование трещины могло произойти в результате интенсивного нагрева отливки без выдержки для выравнивания температуры.

§2. Очистка отливок от смеси

Причиной возникновения термических напряжений в отливках, при остывании их после заливки металла в формы, является отставание охлаждения одних частей объёма относительно других. Напряжения возникают в результате перепада температур между любыми частями объёма. Следовательно, если в термическую печь поместить отливку, не полностью очищенную от остатков формовочной или стержневой смеси, то при нагреве части отливки, свободные от смеси, будут иметь большую скорость нагрева, чем части, покрытые смесью. В результате возникают термические напряжения, следствием которых могут быть появления термических трещин.

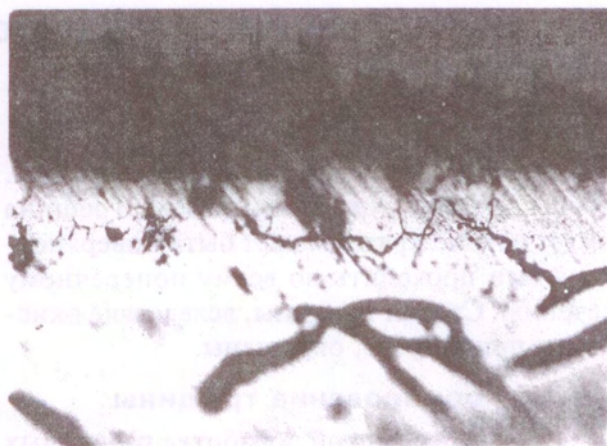


Рис. 2.2.2. Фрагмент отливки «Направляющая станины» с термической трещиной

§3. Термообработка отливок с массивными прибылями

Градиент температур, возникающий при термообработке в печи отливки с массивными прибылями, приведет к термическим напряжениям, вызывающим различные нежелательные последствия. Если величина местного напряжения превысит предел прочности металла, то в отливке могут возникнуть термические трещины.

Предупредить образование такого рода трещин можно отрезкой массивных прибылей до проведения термообработки отливок. Для обрезки или обрубки заливов, прибылей, выпоров и литников используют механическую обработку, огневую резку и другие способы отделения.

Для снижения возможности образования трещин в отливке при отрезке прибылей предусматривается — предварительный отжиг отливки; отрезка прибылей; термообработка. Такой порядок операций особенно важен при обработке отливок, в которых при огневой резке без предварительного отжига могут возникнуть трещины.

Отливки небольших сечений и простой конфигурации можно загружать в печь, нагретую до температуры отжига и нагревать с наибольшей возможной скоростью. Сложные по конфигурации массивные отливки, имеющие значительные внутренние напряжения, во избежание возникновения трещин необходимо нагревать медленно, со скоростью около $100^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ до $350\text{--}400^{\circ}\text{C}$, после чего скорость нагрева может быть увеличена. Время нагрева определяется из расчёта 1–2 минуты на 1 мм наибольшего сечения отливки, время выдержки составляет 25% времени нагрева.

Охлаждение отливок при отжиге производится вместе с печью до $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$, а затем на воздухе. После отжига значительно повышается пластичность отливок, структура измельчается.

Термическая трещина на корпусе фрагмента отливки представлена на рисунке 2.2.3. Трещина образовалась в результате провисания части отливки, которая находилась под частичным воздействием факела газовой горелки. Влияние интенсивного разогрева отливки

и провисание под собственным весом значительно увеличило термическое напряжение и привело к образованию дефекта.

§4. Режимы поверхностной и изотермической закалки

Закалка

1. Назначение закалки — повышение твердости до HB 500, повышение прочности, износостойкости.
2. Исходная структура основной массы — П; П+ФЕ. Конечная структура — продукты распада переохлажденного аустенита: мартенсит, тростит, сорбит, остаточный аустенит. В процессе закалки происходит превращение переохлажденного аустенита.
3. Скорость нагрева — медленная до 550 градусов для сложных отливок.
4. Температура нагрева — 850–930 градусов.
5. Продолжительность выдержки — достаточная для насыщения аустенита углеродом (0,5...3 часа).
6. Охлаждение — вода, масло.

Изотермическая закалка

1. Назначение изотермической закалки — повышение твердости до HB 500, прочности, резкое увеличение износостойкости.
2. Исходная структура основной массы — П; П+ФЕ. Конечная структура — продукты изотермического превращения аустенита: бейнит, тростит, сорбит, остаточный аустенит.
3. Скорость нагрева: простые детали — ускоренно; сложные — до 550 градусов.
4. Температура нагрева — 830–950 градусов.
5. Продолжительность выдержки — достаточная для прогрева (0,2 ... 1,5 часа).
6. Охлаждение — закалочная среда с температурой 250...600 градусов.

Поверхностная закалка

1. Назначение поверхностной закалки — повышение поверхностной твердости до HRC 55, резкое увеличение износостойкости...
2. Исходная структура основной массы — П (более или равно 0,6% С СВ), конечная структура — в поверхностном слое продукты превращения переохлажденного аустенита.
3. Скорость нагрева — быстрый нагрев поверхностного слоя ТВЧ, газовым пламенем, в электроплите.
4. Температура нагрева — 840...950 градусов.
5. Продолжительность выдержки — достаточная для прогрева заданного слоя (10 секунд).
6. Охлаждение — в воде, масле и других средах.

§5. Углерод в подприбыльной части отливки

В стальных отливках часто под усадочной раковинной образуется ликвационное пятно, в котором наблюдается резко повышенное содержание ликвирующих примесей. Многочисленные исследования показывают, что в нижней части отливки происходит обедне-



Рис. 2.2.3. Фрагмент отливки «Корпус горелки» с термической трещиной

ние металла примесями, имеющими большую величину коэффициента распределения. Очевидно, что это явление связано с возникновением объемов металла, обогащенных примесями и всплывающими в верхнюю часть отливки. Всплывание примесей может происходить без образования примесями самостоятельных фаз — для этого достаточно развития концентрированных потоков.

Различные марки стали имеют различную склонность к развитию дефектов, связанных с химической неоднородностью. Степень развития ликвации увеличивается при возрастании содержания в стали углерода, являющегося наряду с серой и фосфором сильно ликвирующим элементом.

В качестве основных методов воздействия на процессы образования зональной ликвации можно считать введение модифицирующих добавок в сплав и выбор режима охлаждения отливок.

Уменьшить ликвацию углерода, и, как следствие, образование термических трещин, можно последовательной кристаллизацией отливки. В толстостенных стальных отливках ликвационную неоднородность можно уменьшить, но нельзя совсем устранить, что обусловлено характером процесса усадки. Уменьшить ликвацию углерода в стали возможно путем доливания в прибыль металла с низким содержанием углерода при одновременном перегреве стали до высокой температуры.

Важным является правильный выбор конструкции отливки, эффективное расположение питателей, деаэрация жидкого металла.

Задерживая затвердевание больших стальных отливок, можно создать условия, при которых все всплывающие ликваты сконцентрируются в прибыли.

При разработке технологии литья сложных фасонных отливок необходимо выбирать сплавы, которые имеют меньшую склонность к ликвации, например, низкоуглеродистые.

§6. Режим отпуска и нормализации отливок

Отпуск

1. Назначение отпуска — снятие закалочных напряжений, распад твердых растворов, повышение вязкости, пластичности и предела выносливости.
2. Исходная структура основной массы — М, ТР, остаточный аустенит; конечная структура — мартенсит, троостит, сорбит отпуска. В процессе закалки происходит превращение остаточного аустенита, мартенсита, укрупнение карбидной фазы.
3. Скорость нагрева — сложные детали замедленно.
4. Температура нагрева — 200...700 градусов в зависимости от требуемой твердости.
5. Продолжительность выдержки — достаточная для образования стабильных структур (1–3 часа).
6. Охлаждение — на воздухе.
7. До тех пор, пока температура отливок находится в области упругих деформаций, нагрев нужно вести особенно медленно.
8. Нелегированные чугуны следует нагревать до 535–550 градусов со скоростью менее 100 градусов в час, охлаждать до 250 градусов со скоростью не более 50 градусов в час.
9. Опытные данные по оптимальной продолжительности выдержки при отжиге различных по толщинам стенок отливок нелегированного чугуна:
 - толщина стенки 8 мм, — нагрев до 535 градусов за 7 часов, выдержка в течение 1 часа, охлаждение до 250 градусов за 8,5 часов, далее охлаждение на воздухе;
 - толщина стенок 30 мм (компактные отливки, не склонные к образованию тре-

- щин), — нагрев до 535 градусов за 7 часов, выдержка в течение 2-х часов, охлаждение до 250 градусов за 9 часов, далее охлаждение на воздухе;
- сложные отливки, склонные к образованию трещин и остаточных напряжений, — нагрев до 535 градусов за 11 часов, выдержка 3 часа, охлаждение до 250 градусов за 9 часов, далее охлаждение на воздухе.

§7. Нагрев отливок перед резкой или сваркой

Перед выполнением огневых работ на отливке, в особенности, изготовленной из легированной стали, необходимо провести её подогрев. Чем больше остаточных напряжений в отливке, тем с меньшей скоростью следует вести нагрев. После отрезки прибылей или проведения сварочных работ, необходимо медленное охлаждение мест резки и заварки.

Отделение прибылей от отливки проводят и другими способами, в частности, используя тепло заливаемого металла. Около 2/3 времени полной выдержки отливок до выбивки, их форму стараются оставлять в покое, за исключением отламывания прибылей, пока они не успели остыть. Эту операцию следует вести достаточно организованно, чтобы не испортить всей отливки.

Температура отламываемых прибылей с разделительными диафрагмами должна быть около 1100–1200°C. При красном калении прибыли отламываются значительно труднее.

§8. Режимы процессов отжига отливок

Важным мероприятием является стабилизация внутренних напряжений в отливке, что достигается процессом, называемым старением. Различают естественное и искусственное старение. Естественное старение состоит в длительной выдержке отливок на открытом воздухе с чередованием частичной механической обработки. Искусственное старение, называемое низкотемпературным отжигом, является наиболее распространенным. Низкотемпературный отжиг отливок из серого чугуна состоит из их нагрева, выдержки при температуре 400–600 градусов и медленного охлаждения вместе с печью. Загрузка отливок производится как в холодную, так и в нагретую до 200–300 градусов печь. Скорость повышения температуры печи 50–150 градусов в час до достижения температуры выдержки. Чем выше температура и больше продолжительность выдержки отливок в печи, тем меньше величина остаточных напряжений. Оптимальная температура нагрева отливок из серого чугуна 520–570 градусов с выдержкой в течение 2–3 часов и охлаждением вместе с печью до 350 градусов со скоростью 10–30 градусов в час. Далее скорость охлаждения можно увеличить до 60 градусов в час. Выгрузку отливок из печи следует производить при температуре не выше 100–150 градусов.

Технологические параметры отжига

Назначение отжига — снятие внутренних напряжений, повышение вязкости, стабилизация размеров детали, снижение деформации:

- исходная структура основной массы до отжига — П-ФЕ; П. Конечная структура не изменяется;
- скорость нагрева отливок — 70...100 градусов в час;
- температура нагрева — 500–600 градусов, легированных чугунов — до 630 градусов;
- продолжительность выдержки в печи, в зависимости от конфигурации детали и габаритных размеров отливки — 2...8 часов;
- охлаждение — медленное, с печью, 20...50 градусов в час до 250 градусов.

Низкотемпературный отжиг

1. Назначение отжига — снятие внутренних напряжений, повышение вязкости, стабилизация размеров детали, снижение деформации.
2. Исходная структура основной массы до отжига — П-ФЕ; П. Конечная структура не изменяется.
3. Скорость нагрева отливок — 70–100 градусов в час.
4. Температура нагрева — 500–600 градусов, легированных чугунов — до 630 градусов.
5. Продолжительность выдержки в печи, в зависимости от конфигурации детали и габаритных размеров отливки — 2...8 час.
6. Охлаждение — медленное, с печью, 20...50 градусов в час до 250 градусов.

Отливка «Крышка», представленная на рисунке 2.2.4, подвергалась низкотемпературному отжигу для снятия напряжения. В процессе цикла отжига произошло повышение температуры в печи, высокий нагрев и окисление отливок с образованием окалины и мелких термических трещин.



Рис. 2.2.4. Отливка «Крышка» с окалиной и мелкими термическими трещинами от повышенной температуры нагрева печи

Низкотемпературный графитизирующий отжиг

1. Назначение низкотемпературного отжига — снижение твердости, улучшение обрабатываемости, повышение пластичности.
2. Исходная структура основной массы — П, П+ФЕ. Конечная структура -ФЕ+П. В процессе отжига осуществляется распад цементита, перлита.
3. Температура нагрева — 680–750 градусов.
4. Продолжительность выдержки в печи — в зависимости от требуемой конечной структуры 1...4 часа.
5. Охлаждение — медленное, до 250 градусов для сложных деталей.

Высокотемпературный графитизирующий отжиг

1. Назначение высокотемпературного отжига — уменьшение твердости, улучшение обрабатываемости, повышение пластичности.
2. Исходная структура основной массы до отжига — П-ФЕ; Ф. В процессе отжига происходит частично или полностью распад цементита, перлита.
3. Температура нагрева — 850–950 градусов.
4. Продолжительность выдержки — достаточная для полного распада цементита, перлита (0,5...5 часов).
5. Охлаждение — медленное, с печью.

§9. Условия термообработки стальных отливок

Термообработка стальных отливок выполняется в камерных печах периодического действия, в печах с выдвижным подом, со съёмным сводом, в печах направленного действия и т.д. При неправильной загрузке отливок в печь с их последующим нагревом, возможно возникновение дополнительных напряжений с образованием термических трещин.

Отливки весом до 25 кг загружают на под или на отдельную плиту с последующей подачей на тележку высотой не более 1 метра. Высота загрузки тележки должна быть не более 1 метра, расстояние от верхнего слоя отливок до свода печи должно быть не менее 1 метра. Отливки весом более 25 кг загружают на специальные подставки высотой 250–300 мм. Отливки весом более 100 кг укладывают на тележку внизу с боков, а отливки весом от 25 до 100 кг — внизу в середине и наверху.

Если отжигают вместе мелкие, средние и крупные отливки, то на тележке их располагают так:

- отливки весом более 100 кг — по бокам;
- от 25 до 100 кг — в середине;
- менее 25 кг — наверху в середине.

Отливки сложной формы склонны к короблению и образованию трещин, поэтому их укладывают в один ряд на под со специальными подставками, так, чтобы не было провисания отливок под действием собственного веса.



Рис. 2.2.5. Отливка «Кольцо» с деформацией и оплавлением отливки при термообработке

При загрузке отливки укладывают с зазором между ними не менее 50 мм для прохода газов. Для мелких отливок зазоры выполняют при помощи прокладок или кирпичей. Расстояние от стенок печи до отливок должно быть не менее 200 мм.

При газовом нагреве печи открытый факел пламени не должен касаться отливок.

Для более точного контроля за распределением температуры по массе загруженного литья в отжигательных печах устанавливают по одной термопаре в передней и задней частях на высоте 300–350 мм от пода; термопары желательно пропускать возможно глубже между отливками, нагруженными на под печи. Одну термопару следует подводить сверху, её конец должен упираться в отливки.

Отливка «Кольцо», представленная на рисунке 2.2.5, подвергалась высокотемпературному графитизирующему отжигу для уменьшения твердости. Из-за чрезмерного завышения температуры нагрева пламенем горелки отливки подверглись частичному оплавлению.

§10. Разное, или Советы бывалого

1. Для отливок со стенками переменного сечения требуется осторожность на участке выбивки и при транспортировке в очистные отделения. Опасность возникновения холодного разрыва осложняется пониженной прочностью металла отливки до проведения термообработки.
2. Для упрочнения неправильной конструкции отливки, склонной к холодному разрыву, используются рёбра жёсткости или распорные поперечины.
3. Развитая литниковая система способствует созданию напряжённого состояния в отливке. В случае появления условий, инициирующих возникновение разрыва (уменьшение углеродного эквивалента, наличие термических узлов, разностенность отливки и др.), резко увеличивается вероятность появления дефекта.
4. Использование в стержнях или форме слишком крупной арматуры или её неправильное размещение создаёт трудность удаления арматуры из отливки. В результате механической нагрузки при удалении арматуры из стержня возможен разрыв отливки.
5. Недостаточная разрушаемость стержня или формовочной смеси от горячего металла вызывает деформацию отливки при охлаждении и может привести к разрушению отливки в холодном состоянии.

Глава 2.3. Трещина «Разрыв холодный»

Описание дефекта

Разрыв сплошности в виде заметной трещины постоянной ширины с острыми углами, которая обычно пересекает всю отливку, зерно в месте разрыва имеет обычный вид зерна при холодном изломе. Дефект встречается на участках, подвергающихся растяжению, т.е. в тех частях отливки, которые затвердевают последними, в то время как части отливки, затвердевающие первыми, подвергаются сжатию.



Рис. 2.3.1. Отливка «Крышка» с дефектом «Разрыв холодный»

Формирование дефекта

При охлаждении чугуновых отливок ниже интервала температур 400..500 градусов, в их материале преобладают упругие свойства. Трещины, образующиеся в отливках в период преобладания в их материале упругих свойств, называются холодными.

Холодные трещины образуются в зоне растягивающих напряжений и располагаются преимущественно в острых углах и других местах концентрации напряжений.

Причиной образования холодных трещин являются остаточные напряжения, возникающие в отливке при ее охлаждении. Кроме того, на образование холодных трещин влияют и временные напряжения.

Холодные трещины, вызываемые остаточными напряжениями, появляются при эксплуатации отливок под воздействием нагрузок значительно меньше расчетных. Практически, они могут возникнуть даже без воздействия внешних сил — при очистке, транспортировке или механической обработке. Вероятность образования трещин тем больше, чем меньше прочность или пластичность металла.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Технологичность отливки

Разница в толщинах стенок

Образование «разрыва холодного» связано с конструкцией отливки, вызывающей возникновение значительных внутренних напряжений.

Конструированием отливки надо стремиться к получению минимальной разницы толщин сопрягаемых стенок. Если по конструктивным соображениям избежать этого нельзя, то следует выполнить правильный переход от тонких стенок к массивным частям (см. 2.1. §11).

§2. Регулируемое охлаждение отливок

1. Для снижения напряжений при помощи регулируемого охлаждения отливок в форме, необходимо руководствоваться следующими правилами:

- во время первого охлаждения, в диапазоне пластических деформаций, охлаждение толстых стенок отливки должно происходить быстрее, чем тонких;
 - при переходе в область упругих деформаций, обычно при температурах между 700–750 градусов, скорость охлаждения толстых стенок нужно резко повысить. При прохождении этого диапазона и ниже его, температурные различия между толстыми и тонкими стенками должны быть сведены до минимума;
 - при температуре ниже 400 градусов целесообразно ускорить охлаждение одновременно толстых и тонких стенок отливки.
2. Внешние стенки отливки, склонные к образованию остаточных напряжений, должны быть толще внутренних. По этим же соображениям кромки стенок с большой площадью поверхности целесообразно утолщать буртом. То же относится к краям больших проемов в стенках отливок.
 3. С целью выравнивания скоростей охлаждения различных участков отливки применяют облицовочные смеси с высоким коэффициентом теплоаккумуляции для охлаждения толстых стенок, подогрев формы или специальные низкотеплопроводные и экзотермические формовочные смеси для облицовки тонких стенок отливки [1].
 4. Резкое охлаждение толстых стенок отливки в области упругих деформаций можно выполнить введением порций воды или паровоздушной смеси в специальные полости формы.

§3. Стабилизирующая термообработка

Важным мероприятием является стабилизация внутренних напряжений в отливке, что достигается процессом, называемым старением. Различают естественное и искусственное старение. Естественное старение состоит в длительной выдержке отливок на открытом воздухе с чередованием частичной механической обработки (см. 2.2. §8).

Разрыв холодный на корпусной отливке можно увидеть на рисунке 2.3.2. Отливка не прошла операцию стабилизирующей термообработки, при которой значительно увеличивается пластичность металла с уменьшением напряжённого состояния отливки. В результате перевалочных операций при транспортировке отливок появилась трещина.



Рис. 2.3.2. Фрагмент корпусной отливки с трещиной

§4. Охлаждение отливки

После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки. Высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения её качества. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и возникновению в отливке высоких остаточных напряжений. Однако, с экономической точки зрения, выбивку стремятся провести при максимально допустимой высокой температуре (см. 2.1. §6 Чугун).

Разрыв холодный на плите печной представлен на рисунке 2.3.3. В результате ранней выбивки форм, образовался значительный перепад температур в узкой и широкой

частях отливок. При работе выбивной решётки, возникшие от перепада температур напряжения в стенках отливки, реализовались в трещину.

§5. Углерод и кремний в чугунах

Углерод и кремний являются графитизирующими элементами, оказывающими наибольшее влияние на структуру и свойства нелегированного чугуна. Кремний, уменьшая растворимость углерода в жидком и твердом растворах, способствует графитообразованию. Эти элементы определяют также положение чугуна по отношению к эвтектике, но в этом отношении влияние фосфора аналогично влиянию кремния, как это видно из уравнения для определения углеродного эквивалента C_9 :

$$C_9 = C + 0,3 \cdot (Si + P),$$

где: C — содержание углерода, %;
Si — содержание кремния, %;
P — содержание фосфора, %.

Углерод и кремний воздействуют и на дисперсность структурных составляющих. Увеличение углеродного эквивалента C_9 способствует:

- увеличению количества графита;
- снижению количества перлита;
- увеличению длины графитовых включений;
- уменьшению дисперсности перлита.

Увеличение углеродного эквивалента до 4–4,2% способствует значительному уменьшению усадочных явлений, снижению возможности возникновения напряженного состояния отливки, а значит, и снижению причин для возникновения холодных трещин (образующихся при температуре ниже 550°С).

Для предупреждения возникновения холодных трещин рекомендуется:

- повышение содержания углерода до 3,4–3,6%;
- снижение содержания кремния до 1,7–1,9%;
- снижение содержания хрома менее 0,15%.

§6. Легирование чугуна

Холодные трещины образуются в отливках в тех случаях, когда напряжения, развиваемые в интервале упругих деформаций, достигнут величины предела прочности материала. Чем больше напряжения и чем меньше прочность и пластичность материала, тем большая вероятность образования холодных трещин.

Для повышения прочности чугунов проводят их легирование различными элементами. В данном случае интерес представляют элементы, которые способствуют графитизации чугуна, повышают его прочностные свойства и усредняют свойства металла в тонких и толстых сечениях. К ним можно отнести никель, медь и др., являющиеся графитизирующими элементами. В то же время никель и медь задерживают распад эвтектоидных карбидов, тем самым стабилизируют перлит и способствуют повышению его дисперсности (см. 2.1. §4).



Рис. 2.3.3. Фрагмент отливки «Плита печная» с дефектом «Разрыв холодный»

§7. Выбивка и транспортировка отливок

На позициях выбивки и транспортировки отливок их разрушение по вине выбивного и транспортного оборудования происходит не очень часто. Разрушение происходит, в основном, от повышения напряженного состояния из-за процессов, заложенных технологией изготовления или от грубых нарушений существующих технологий выбивки и транспортировки.

Некоторые из причин возникновения условий для боя отливок

Отливки переменного сечения со стенками до 5 мм не могут быть загружены навалом в транспортную тару. Категорически запрещается бросать отливки (после выбивки) с эпрона с высоты более 1 метра.

Возникновение внутренних напряжений от несоблюдения технологии изготовления, небрежной транспортировке и выбивке отливок приводит к бою литья.

Основные нарушения технологии изготовления отливок:

- пониженная прочность металла;
- наличие нетехнологичных мест отливки (острые углы, сопряжения толстых и тонких стенок и др.) и отсутствие упрочняющих элементов в несовершенной конструкции (ребра жесткости, распорные поперечины и др.);
- близкое расположение ребер жесткости опоки от литника или стояка препятствует нормальной усадке отливки;
- несоблюдение правил направленного затвердевания отливок;
- высокая прочность формовочной смеси, вызывающая деформацию отливки при охлаждении;
- недостаточное разупрочнение стержней;
- неправильное использование холодильников, создающих дополнительное напряжение в отливке;
- ошибочный химсостав металла, приводящий к большой усадке сплава или к высоким напряжениям в отливке;
- использование чрезмерного количества стабилизаторов карбида;
- недостаточная температура заливки, создающая низкую скорость разупрочнения формы и стержня.

На рисунке 2.3.1 представлена отливка «Крышка» с дефектом «Разрыв холодный». Разрыв произошёл в результате соударения крышки с корпусной отливкой при загрузке их в коробчатую тару для транспортировки. При анализе химсостава отливки установлено пониженное содержание углерода, что способствовало повышению напряжённого состояния отливки.

§8. Разное, или Советы бывалого

Для отливок со стенками переменного сечения требуется осторожность на участке выбивки и при транспортировке в очистные отделения. Опасность возникновения холодного разрыва осложняется пониженной прочностью металла отливки до проведения термообработки (см. 1.2. §10).

Глава 2.4. Горячая трещина

Описание дефекта

Более или менее глубокие межкристаллические трещины. Излом иногда имеет мелкую дендритную структуру и окисленный вид. Дефект чаще всего появляется на участках, затвердевающих последними, где возникают напряжения (например, изменения площади поперечного сечения, выступающие углы).

Формирование дефекта

Процесс формирования горячей трещины в отливке можно представить следующим образом. Первоначально корка приобретает прочность и жесткость на плоских или цилиндрических поверхностях и внешних углах сопряжения стенок отливок. Несколько позднее приобретает прочность и жесткость корка во внутренних углах. Возникновение напряжения в корке, связанного с торможением усадки со стороны формы, становится возможным после того, как вся корка на основных стенках, выступающих частях и в углах будет связана в одно жесткое целое. С течением времени толщина корки увеличивается, удельная прочность металла при ее охлаждении возрастает и общая прочность корки растет еще интенсивнее. С течением времени формовочная смесь расширяется, спекается и оказывает возрастающее сопротивление усадке, что вызывает рост напряжения в твердой корке. Если напряжения в «слабом месте» корки достигают предела прочности металла, образуется трещина, охватывающая все толщину твердого слоя. За счет образования трещины, напряжения разряжаются.

С момента образования на поверхности отливки твердой корки, в дальнейшем появляются разрывы сплошности в виде трещины, заметной невооруженным глазом. Трещина имеет острые края и может быть поверхностной или проходить по всему поперечному сечению. Стенки трещины, вследствие окисления при нагреве, окрашены [28].

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Податливость стержня и формы

Горячие трещины, образующиеся в процессе затвердевания отливки, могут быть вызваны торможением усадки формой, стержнем или частями отливки. Чем больше степень уплотнения формовочной смеси, тем больше напряжения в отливке и тем меньше деформация смеси. Увеличение податливости формовочной смеси и стержня является эффективным средством понижения напряжений и уменьшения опасности образования трещин в отливках [25,43].



Рис. 2.4.1. Отливка «Рабочее колесо» с дефектом «Горячая трещина»

Сырая форма более податлива, чем сухая, и обуславливает более низкие напряжения в отливке. Наиболее податливыми являются стержни, изготавливаемые с отверждением в оснастке, с опустошением внутренней части [40, 41].

При возрастании длины отливки деформация формы уменьшается, а напряжения в отливке увеличиваются. Следовательно, уменьшение длины отливки путём расчленения её на части также является эффективным мероприятием по борьбе с горячими трещинами.

Податливость смеси

Высокое содержание глины в составе смеси способствует образованию горячих трещин. На рис 2.4.2 представлены кривые изменения прочности глинистых смесей в зависимости от температуры. Из кривых следует, что наилучшей податливостью обладают смеси с минимальным содержанием глинистых веществ. Наилучшие показатели могут дать смеси с использованием активированного бентонита. При обычной температуре эта смесь имеет высокую прочность, а при контакте с металлом удовлетворительную разупрочняемость.

Для уменьшения остаточных напряжений, обусловленных механическим сопротивлением отдельных участков формы и стержней, рекомендуется рассмотреть материал в 2.1. §10 [47, 21, 8].

§2. Содержание в чугуне фосфора

На образование трещин в чугунных отливках, возникающих при температуре выше 500 градусов, оказывает влияние высокое содержание фосфора. Фосфор, подобно кремнию, уменьшает растворимость углерода в жидком чугуне и одновременно снижает температуру эвтектического превращения. Избыточное количество фосфора выделяется в виде тройной фосфидной эвтектики, плавившейся при 953 градусах. При затвердевании эвтектика уменьшается в объеме, образуя усадочные раковины [33].

При литье в податливые формы чугуна с повышенным содержанием фосфора, увеличивается предусадочное расширение чугуна, что связано, по-видимому, с малой прочностью затвердевшей корки, которая длительное время находится в твердо-жидком состоянии. При дальнейшем отверждении чугуна, содержащего легкоплавкую эвтектику с пониженной прочностью, возможно появление трещин. Отрицательное влияние фосфора в нелегированном сером чугуне становится заметным уже начиная с 0,12%.

Для получения малофосфористого чугуна в вагранке с кислым шлаком, необходимо подбирать чистую по фосфору шихту. При введении в вагранку в качестве флюса известняка в количестве 7% от веса металла и железной руды в количестве 1% от веса металла, степень обесфосфоривания чугуна достигает 30%. Лучшие результаты получаются при выплавке чугуна с температурой 1300–1350 градусов; при повышении температуры чугуна до 1400–1450 градусов степень обесфосфоривания уменьшается.

Следует заметить, что процессы обесфосфоривания и обессеривания одновременно протекать не могут. Для лучшего обессеривания надо добиваться снижения FeO в шлаке и максимального повышения температуры. Для лучшего обесфосфоривания надо добиваться повышения содержания FeO в шлаке, не допуская повышения температуры выше оптимальной.

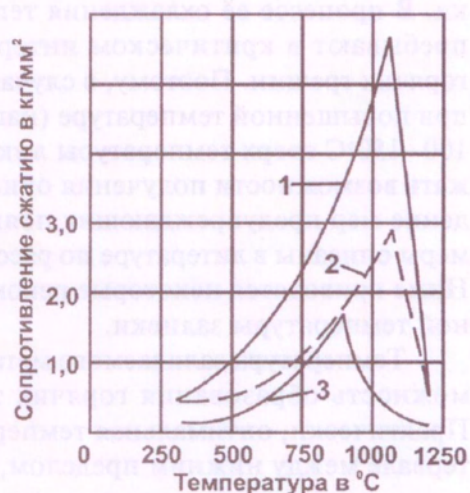


Рис. 2.4.2. Кривые изменения прочности глинистых смесей в зависимости от температуры:

- 1 – смесь из кварцевого песка, 15% огнеупорной глины и 6% воды;
- 2 – смесь из песка, 10% глины и 4% воды;
- 3 – смесь из песка, 3,3% бентонита и 1,5% воды

§3. Температура заливаемого металла

Сталь

Условия образования горячих трещин во многом зависят от температуры стали при заливке форм. С повышением температуры заливки возрастает продолжительность затвердевания отливки. В процессе её охлаждения тепловые узлы длительное время пребывают в критическом интервале температур образования горячих трещин. Поэтому, в случаях вынужденной заливки форм при повышенной температуре (например, при перегреве стали на 100–150°C сверх температуры ликвидуса), когда требуется избежать возможности получения окисных плёнок, необходимо проведение мер предупреждающих появление горячих трещин. Такие меры описаны в литературе по рассматриваемому дефекту [22, 25]. Ниже приводятся некоторые рекомендации по выбору оптимальной температуры заливки.

Температура заливаемого металла оказывает влияние на возможность образования горячих трещин в стальных отливках. Практически, оптимальная температура металла находится в интервале между нижним пределом, при котором образуются волнистая поверхность, спайи или недоливы, и верхним пределом, при котором возникает пригар, горячие трещины и усадочная рыхлота [22]. На рис. 2.4.3 показаны фитинги из стали с 0,40% углерода, отлитые при температурах выше оптимальной, оптимальной и ниже оптимальной. Фитинг, отлитый из стали с температурой выше оптимальной, имеет на поверхности пригар (в горячих углах и внутри), заливки (из-за растрескивания формы) и горячие трещины (в массивных частях). У фитинга, залитого при температуре ниже оптимальной, не долиты углы, а поверхность покрыта спаями и волнистостью. Только фитинг, залитый при оптимальной температуре стали не имеет таких пороков. Выход годного в этом случае наибольший.

Естественно, что невозможно рекомендовать вполне определенные интервалы температуры при заливке без проведения дополнительных исследовательских мероприятий. Тем не менее, ниже приводятся ориентировочные температуры заливки сталей различных марок (табл. 2.4.1). Определение температуры заливки сводится к выбору необходимого перегрева стали, принимаемого сверх температуры начала затвердевания. При изготовлении отливок, склонных к горячим трещинам (толстостенные с местными скоплениями металла и др.) допускается минимальный перегрев стали на 10–40°C.

Таблица 2.4.1

Исходные данные для определения температуры заливки углеродистой стали

Содержание углерода, %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Интервалы температуры заливки, °C	1550–1580	1540–1570	1530–1560	1525–1555	1515–1545	1505–1533	1495–1525

Это относится к отливкам, на которых возможно возникновение усадочных раковин и горячих трещин. Дополнительную информацию по температуре заливаемого металла можно посмотреть в 1.2. §7.

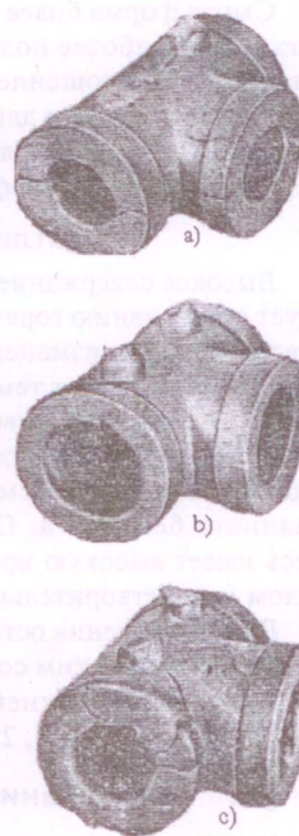


Рис 2.4.3. Фитинги из стали с 0,40% С:
а – отлиты при 1660 °C;
b – отлиты при 1550 °C;
с – отлиты при 1500 °C

Чугун

Повышение температуры заливаемого чугуна способствует образованию горячих трещин в массивных частях отливки.

При заливке горячего чугуна происходит интенсивный разогрев формы и стержня, снижается теплоотвод от них и тепловые узлы отливки длительное время находятся при повышенной температуре. С одной стороны, это способствует улучшению податливости формы и стержня и, как следствие, более свободной усадке металла и снижению внутренних напряжений в отливке. С другой стороны, при наличии повышенного содержания серы и фосфора создаются условия для возникновения горячих трещин.

Заливка формы менее горячим металлом (не более 1320°C) значительно снижает опасность возникновения горячих трещин. Снижение температуры заливаемого металла в комплексе с анализом других причин возникновения дефекта, неизбежно приведет к ликвидации горячей трещины.

Горячая трещина в утолщенном месте отливки «Корпус насоса» представлена на рисунке 2.4.1. Дефект образовался из-за повышенной температуры заливки металла, вызванной отсутствием контроля за металлом при заливке.

§4. Направленное отверждение отливки

Направленное затвердевание применяется для получения плотной отливки без усадочных раковин, пористости, горячих трещин и т.д. Характер направленности затвердевания зависит от свойств материала и конфигурации отливки, от положения отливки в пространстве, от места расположения прибылей и питателей, от термофизических свойств формы и холодильников [8].

При конструировании отливки нужные для направленного затвердевания массы металла в сечении отливки контролируются по известному методу «вписанных окружностей» А. Геверса. Он заключается в том, что окружность, вписанная в самую тонкую часть сечения отливки, должна беспрепятственно выкатываться по направлению к прибыли (рис. 2.4.4). Следуя ему, диаметры окружностей, вписанных в сечение отливки, должны последовательно увеличиваться от нижних сечений к верхним, так как каждая верхняя часть отливки является прибылью для нижней. Например, расположение стенки отливки, показанной на рис. 2.4.4а,б, обеспечивает направленное затвердевание и питание стенки отливки. Конструкция стенки отливки, представленная на рис. 2.4.4в, не обеспечит направленного затвердевания в связи с её утолщением в средней части, где возможно образование усадочной раковины или пористости.

Прибыли, установленные в верхних частях стенок (рис. а, б), рекомендуется рассчитывать по выражению:

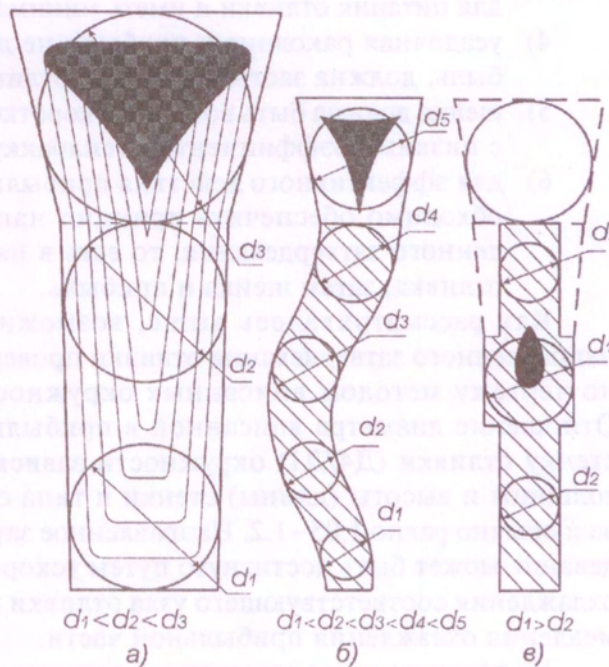


Рис. 2.4.4. Конструкции стенок отливок: а, б — обеспечивающие направленное затвердевание; в — не обеспечивающая направленного затвердевания

$$25(4P+1) / S = P \cdot D / (E \cdot W) - 1,275 / D^2,$$

где:

P — отношение высоты прибыли к ее диаметру;

S и W — соответственно, площадь поверхности и объем части отливки, питаемой прибылью;

D — диаметр прибыли;

E — относительная объемная усадка металла, величину которой можно определить из соотношений с углеродным эквивалентом по таблице 2.4.3.

Таблица 2.4.3

Соотношение относительной объемной усадки металла с углеродным эквивалентом

Углеродный эквивалент	E
3,5	0,03
3,86	0,024
4,13	0,015

При конструировании прибылей надо руководствоваться следующими правилами:

- 1) прибыль следует присоединять к тепловому узлу отливки;
- 2) если в отливке имеется несколько тепловых узлов, разделенных тонкими стенками, то у каждого надо устанавливать отдельную прибыль;
- 3) прибыль должна застывать позже отливки, содержать достаточное количество расплава для питания отливки и иметь минимально возможную поверхность охлаждения;
- 4) усадочная раковина в прибыли не должна достигать шейки, которая, как и прибыль, должна застывать позже отливки;
- 5) шейка должна быть возможно короткой и круглой, желательно облицевать ее смесью с низким коэффициентом теплоаккумуляции;
- 6) для эффективного действия прибыли необходимо обеспечить принцип направленного затвердевания, то есть в начале отливка, затем шейка и прибыль.

Как рассматривалось выше, возможность направленного затвердевания отливки проверяют по чертежу методом вписанных окружностей. Отношение диаметра вписанной в прибыль и в стенку отливки (D_4/D_1) окружности зависит от толщины и высоты (длины) стенки и типа сплава и обычно равно 1,05–1,2. Направленное затвердевание может быть достигнуто путем ускорения охлаждения соответствующего узла отливки и замедления охлаждения прибыльной части.

На практике часто встречаются отливки, имеющие по высоте неоднократное изменение толщины стенок, что значительно затрудняет получение такой отливки гидроплотной. Кроме этого, не исключено образование в средней части отливки горячих трещин. На рисунке 2.4.5 представлен эскиз сечения отливки «Корпус клапана» (масса отливки около 1 тонны), а на рисунке 2.4.6 представлено сечение наиболее сложной стенки данной отливки.

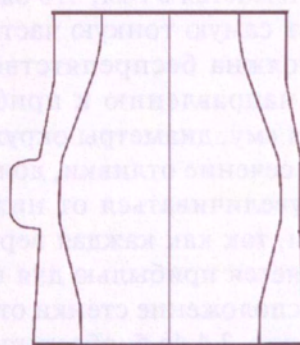


Рис. 2.4.5. Сечение эскиза отливки «Корпус клапана»



Рис. 2.4.6. Формирование стенки отливки без направленного затвердевания

При использовании традиционной заливки с верхними и боковыми прибылями в нижней части стенки образуются усадочные раковины, переходящие в пористость по мере подъёма металла по конусной части стенки.

Описанная отливка была проанализирована на разработанной авторами компьютерной системе, позволяющей рассчитывать и моделировать объёмное или направленное затвердевание сложных по конфигурации отливок.

Исследования и выданные компьютером рекомендации показали следующее:

- нижнюю часть отливки следует охлаждать холодильником (облицованный полукокиль);
- коническую часть надо облицевать хромомagneзитовой (или другой, при близком коэффициенте теплоаккумуляции) смесью;
- для термического узла в средней части отливки можно использовать отводную прибыль или холодильник;
- в верхней части отливки необходимо использовать прибыль, изолированную стержнем с низким коэффициентом теплоаккумуляции.

В результате будет сформировано направленное отверждение отливки с иницированием охлаждения в нижней части.

На рис. 2.4.7 представлена схема стенки отливки с направленным затвердеванием.

По изотермическим линиям видно, что нижняя и боковая части отливок имеют более интенсивное отверждение и завершающийся процесс формирования структуры идёт по заложенному принципу. Остающаяся усадочная пористость в некоторых местах центральной части отливки (показана на рисунке белыми участками) не оказывает влияния на ее гидроплотность. Рассматриваемая стенка может выдерживать большое давление находящейся внутри «Корпуса клапана» газовой или жидкой среды. После выполнения направленной кристаллизации отливки исчезли условия возникновения горячих трещин.



Рис. 2.4.7
Стенка отливки
с направленным
затвердеванием

§5. Содержание серы в металле

Сталь

Отрицательное влияние серы на трещиностойкость стали проявляется уже при её содержании сверх 0,015%. Предельная растворимость серы в железе составляет 0,06% при 1365°C и 0,012% при 988°C. При содержании серы, превышающим 0,012%, она может выделяться из раствора в виде жидкой фазы даже при температуре, несколько превышающей 988°C, формируясь на границе зёрен. Механические свойства стали при этой температуре незначительны, поэтому ослабление пограничных связей зёрен облегчает возможность образования горячих трещин в местах концентрации напряжений [7].

Снижение содержания серы в стали до 0,01–0,012% при одновременном раскислении комплексными раскислителями и использовании в завалке шихты отходов прокатного производства даёт наилучшие результаты по ликвидации горячих трещин.

При увеличении содержания серы сверх 0,01%, в стали, при повышенной температуре (1420–1460°C), заметно понижаются предел прочности, относительное удлинение и повышается линейная усадка. Это говорит о влиянии увеличенного содержания серы на снижение трещиностойкости стали.

Описанное можно проследить по графикам, представленным на рис. 2.4.8. Именно эти свойства стали и, особенно, относительное удлинение, количественно характеризуют трещиностойкость стали.

Отмеченное ограничение содержания серы должно быть эффективным и в применении к массивным отливкам для предупреждения возможности образования внутренних, в том числе «залеченных», трещин. Положительное влияние на снижение образования горячих трещин оказывает ограничение содержания серы до 0,012–0,0%. Влияние содержания серы и углерода в стали на ее прочность в области температур образования горячих

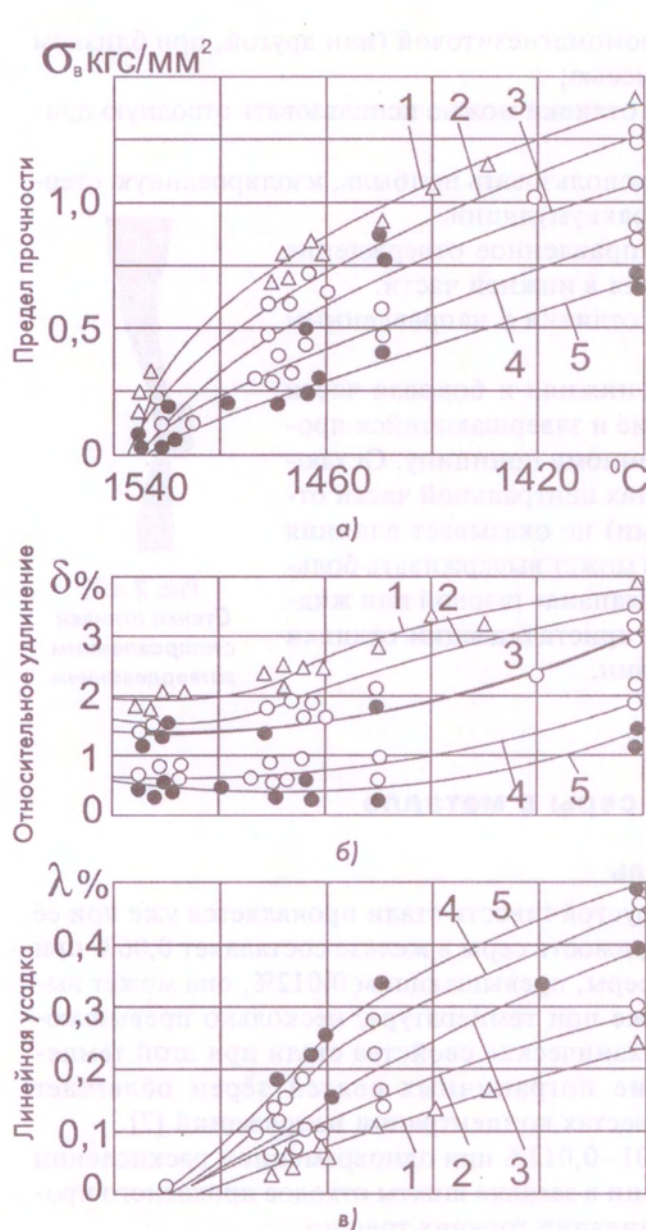


Рис. 2.4.8. Предел прочности σ_b , относительное удлинение δ и линейная усадка λ стали 15X1M1ФЛ в зависимости от содержания серы: 1 – 0,005%; 2 – 0,012%; 3 – 0,017%; 4 – 0,025%; 5 – 0,055%

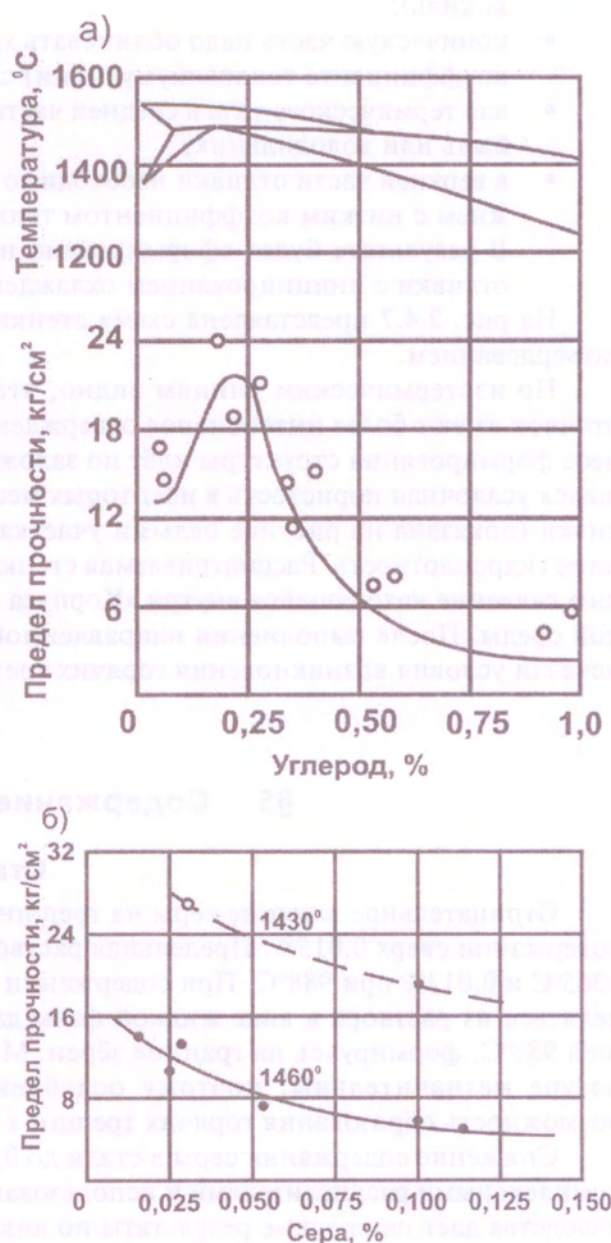


Рис. 2.4.9. Влияние содержания углерода (а) и серы (б) на предел прочности стали вблизи температуры кристаллизации

трещин, можно проследить на рис. 2.4.9 [25]. Наибольшей прочностью обладает сталь, содержащая 0,18% углерода, имеющая наименьший интервал кристаллизации. При уменьшении содержания углерода и, особенно, при его увеличении, предел прочности падает. Между кривой изменения предела прочности и диаграммой состояния железо-углерод наблюдается определенное соответствие. В сплавах с максимальным пределом прочности пластичность достигает минимума. В среднеуглеродистой стали с увеличением содержания серы предел прочности снижается. Чем выше температура, тем резче происходит падение прочности.

Чугун

При наличии повышенного содержания серы в чугуне (более 0,1%) снижаются его механические свойства из-за образования на границе зерен хрупкой эвтектики. При условии напряженного состояния отливки и высокой температуры металла возможно образование горячих трещин. Для снижения возможности образования трещин рекомендуется [33]:

- уменьшить десульфурацией содержание серы в чугуне до 0,05%;
- ликвидировать примеси, способствующие появлению легкоплавких соединений.

Сера попадает в вагранку с топливом, флюсами и металлом (особенно с рассыпной стружкой). Для уменьшения серы следует увеличить расход известняка (35–50% от веса кокса), несколько увеличить содержание в чугуне Mn, в шлаке MnO, применением в шихте зеркального чугуна, а в числе флюсов — марганцевой руды, и плавку следует вести горячо. Чем горячее чугун, тем меньше в нем будет серы.

Резкое снижение серы достигается переходом на основной процесс или при обработке чугуна кальцинированной содой в ковше или копильнике. Степень обессеривания увеличивается, если вместе с содой добавлять ферросилиций для раскисления (из расчета 0,3% кремния к весу металла) и если обработка содой ведется в ковше с основной футеровкой. Расход соды составляет 5–10 кг на 1 т жидкого чугуна. Соду дают на дно ковша под струю металла. Образующийся при этом жидкий шлак сгущают дробленым известняком. При содержании серы в чугуне 0,12–0,15% и при присадке 5 кг соды на 1 т чугуна, содержание серы в нем падает до 0,06–0,08%.

Следует заметить, что процессы обессеривания и обесфосфоривания одновременно протекать не могут. Для лучшего обессеривания надо добиваться снижения FeO в шлаке и максимального повышения температуры. Для лучшего обесфосфоривания надо добиваться повышения содержания FeO в шлаке, не допуская повышения температуры выше оптимальной.

§6. Регулируемое охлаждение отливки

Регулирование скорости охлаждения тепловых узлов отливки для снижения возможности образования горячей трещины производится с помощью **внутренних и наружных холодильников**. Установка холодильников ускоряет охлаждение тепловых узлов, что часто бывает необходимо для обеспечения направленного или одновременного затвердевания отливки. Ускоряя охлаждение узла, холодильник предотвращает образование в нем усадочной раковины или горячей трещины, так как теперь узел успевает пропитаться за счет позднее затвердевающих частей отливки. Ускорение охлаждения массивных сечений отливок холодильниками, способствуя выравниванию скорости охлаждения, может привести к уменьшению внутренних напряжений, снижению коробления отливки и опасности образования трещин (см. 1.8. §11; 2.1. §3).

§7. Содержание углерода и кремния в чугунах

Углерод и кремний являются графитизирующими элементами, оказывающими наибольшее влияние на структуру и свойства нелегированного чугуна. Кремний, уменьшая растворимость углерода в жидком и твердом растворах, способствует графитообразованию. Эти элементы определяют также положение чугуна по отношению к эвтектике, но в этом отношении влияние фосфора аналогично влиянию кремния (см. 2.3. §4) [33].

§8. Препятствие усадке со стороны литниковой системы

Применение рациональных способов подвода металла к стенкам отливки способствует снижению возможности образования горячих трещин. Неравномерность температурного поля отливки, способствующая образованию горячих трещин, увеличивается при подводе металла непосредственно к тепловым узлам, к местам сочленения смежных стенок отливки, а также при сосредоточении подачи узкого потока металла в полость формы через тонкостенную часть крупногабаритной отливки. В последнем случае, именно в зоне прохождения основных потоков металла, развитые тонкостенные части отливки часто поражаются сквозными горячими трещинами. Использование разветвленной литниковой системы в виде жесткой конструкции с большой протяженностью подводящих каналов и малой длиной питателей также нерационально, так как литниковые каналы способствуют торможению усадки затвердевающей отливки. Целесообразно применение компактной литниковой системы, т.е. с малой протяженностью каналов, с подводом питателей, способствующим созданию условий направленного затвердевания отливки при максимально возможном сокращении пути продвижения к прибылям основных потоков стали. Идеальным является подвод металла в прибыль, когда отливку изготовляют методом поворота литейной формы.

Для разветвленной литниковой системы, например, многоярусной, при заливке крупной формы необходимо уменьшать жесткость конструкции всей системы путем создания условий для деформации (изгиба) ветвей литниковых ходов и питателей под действием усадки отливки. Концентраторами опасных напряжений могут явиться не только сочленения стенок и резкие переходы, но и местные спаи, особенно вызванные слиянием встречных потоков стали, на поверхности которых наблюдается вторичное окисление алюминия, титана, хрома, содержащихся в стали.

§9. Технологичность отливок

Конструкция отливки оказывает серьезное влияние на ее горячую трещиноустойчивость. Для предупреждения образования горячих трещин требуется улучшение технологичности литых деталей.

При образовании трещины разрушение начинается в «слабом» месте, т.е. на участке, где твердая корка имеет наименьшую толщину. Такими слабыми местами обычно являются внутренние углы сопряжений стенок и районы подвода питателя. Для непосредственной оценки влияния радиуса галтели на прочность сопряжения, можно воспользоваться опытными данными по разрыву образцов диаметром 15–30 мм с фланцами, имевшими в сопряжении различные радиусы закругления.

Разрыв образцов происходил после затвердевания цилиндрической части [25]. Результаты испытаний представлены на рис. 2.4.10 в виде зависимости прочности образцов с сопряжением, выраженной в процентах, от прочности образцов, не имеющих сопряжений (пересчитанной с цилиндрических образцов на плоские стенки), от радиуса галтелей в сопряжениях. С увеличением радиуса галтелей прочность сопряжения растет, асимптоти-

чески приближаясь к прочности стенки без сопряжения. Чем больше толщина стенки, тем сильнее снижает сопряжение ее прочность.

С целью оценки влияния различных мероприятий по усилению «слабых мест» на прочность сопряжения, можно использовать результаты опытов, представленных на рис. 2.4.11. Из диаграммы видно, что наибольшую прочность имеет Т-образный узел; узел с двумя Т-образными сопряжениями имеет меньшую прочность и узлы с Х-образными сопряжениями — еще меньшую. Следовательно, с точки зрения борьбы с горячими трещинами, единственным приемлемым типом сопряжения является Т-образное. Кроме этого, из диаграммы следует, что применение ребер жесткости, наружных и внутренних холодильников заметно повышает прочность сопряжения. Наилучшие результаты даёт применение наружных холодильников.



Рис. 2.4.10. Зависимость прочности образца с фланцем от радиуса закругления внутреннего угла сопряжения:
1 — толщина образца 15 мм;
2 — толщина образца 30 мм

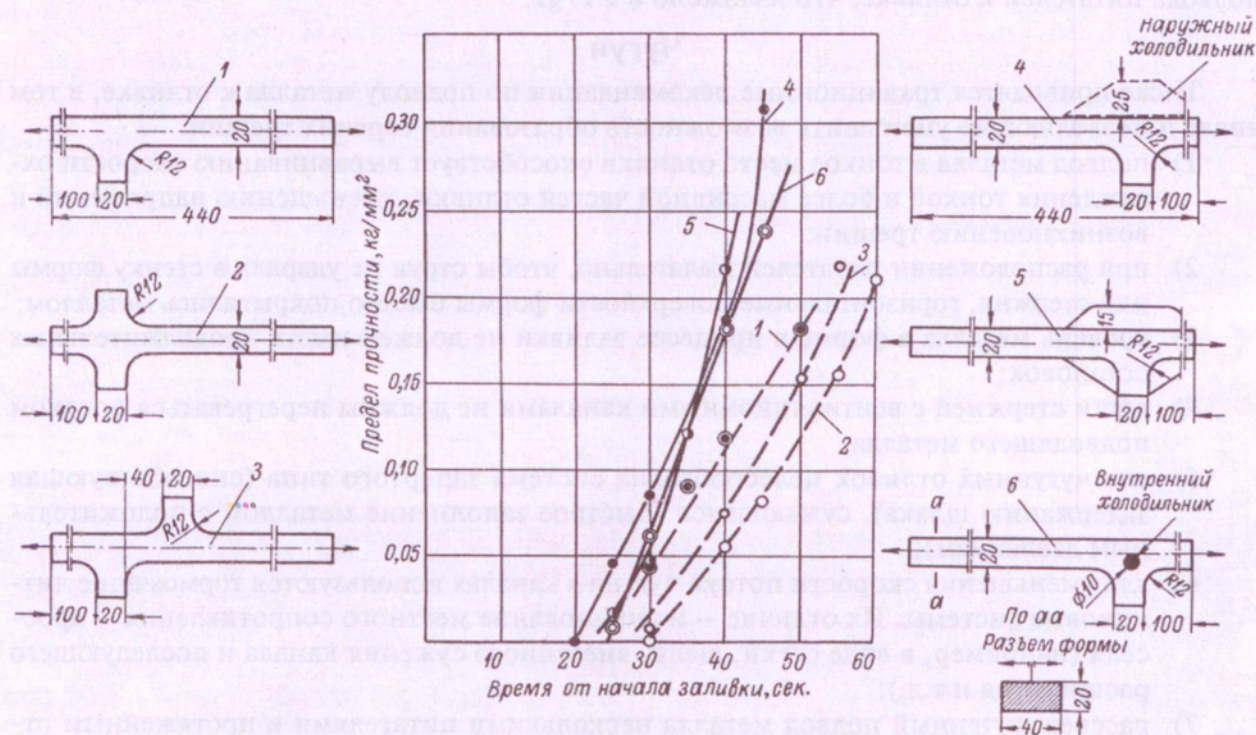


Рис. 2.4.11. Зависимость предела прочности стальных образцов с различными «слабыми местами» от времени после заливки:
1 — узел с одним Т-образным сопряжением; 2 — узел с Х-образным сопряжением;
3 — узел с двумя Т-образными сопряжениями;
4 — узел с Т-образным сопряжением и одним наружным холодильником;
5 — узел с Т-образным сопряжением и тремя наружными холодильниками;
6 — узел с Т-образным сопряжением и внутренним холодильником

Фактором, заметно влияющим на прочность корки, особенно в сопряжении, является температура перегрева стали при заливке. Например, при перегреве стали 35Л на 50°C (температура заливки повышена с 1530 до 1580°C) прочность образцов, выдержанных после заливки 15 с, снизилась на 30%. Это можно объяснить уменьшением толщины корки в опасный период, при заливке более горячем металлом (см. 2.1. §11).

§10. Усадочные рёбра

Правильно применённая система рёбер в напряжённом месте отливки принимает на себя значительную часть напряжения, что значительно снижает опасность возникновения горячих трещин (см. 2.1. §8).

Эффективность применения рёбер проявляется при использовании их в отливках из стали с пониженной трещиностойкостью. К такой стали можно отнести легированную большим количеством марганца (марганцовистую), имеющую значительный интервал кристаллизации. Достаточно незначительного коробления, вызванного затвердеванием более тонких литников, как в отливках из этой стали возникают горячие трещины.

§11. Место подвода питателей

Сталь

После установления типа литниковой системы должно быть выбрано число и место подвода питателей к отливке, что изложено в 2.1. §2.

Чугун

Ниже приводятся традиционные рекомендации по подводу металла к отливке, в том числе и позволяющие уменьшить возможность образования горячих трещин:

- 1) подвод металла в тонкое место отливки способствует выравниванию скорости охлаждения тонкой и более массивной частей отливки, уменьшению напряжений и возникновению трещин;
- 2) при расположении питателей желательно, чтобы струя не ударяла в стенку формы или стержня, горизонтальные поверхности формы быстро покрывались металлом;
- 3) уровень металла в форме в процессе заливки не должен иметь продолжительных остановок;
- 4) части стержней с вентиляционными каналами не должны перегреваться потоком подводящего металла;
- 5) для чугунных отливок целесообразна система запертого типа (способствующая задержанию шлака), сужающаяся (быстрое заполнение металлом с положительным давлением);
- 6) для уменьшения скорости потока чугуна в каналах используются тормозящие литниковые системы. Их отличие — использование местного сопротивления — дросселя (например, в виде сетки, щели, внезапного сужения канала и последующего расширения и т.д.);
- 7) рассредоточенный подвод металла несколькими питателями к протяженным отливкам сокращает возможность местных разогревов, способствует уменьшению усадки и, тем самым, приводит к снижению брака по горячим трещинам.

§12. Трещиностойкость стали

Образование горячих трещин зависит одновременно от комплекса свойств литой стали:

- температурного интервала кристаллизации;

- линейной усадки;
- прочности и пластичности в области высоких температур.

Эти свойства комплексно характеризуются трещиностойкостью, т.е. способностью стали принятого химического состава противостоять действию растягивающих напряжений [22].

Перед разработкой техпроцесса необходимо знать хотя бы ориентировочно уровень трещиностойкости выбранной стали в сопоставлении с известными сталями. Для некоторых сталей коэффициент трещиностойкости имеет вид:

Марка стали	Коэфф. трещиностойкости
30Л, 35Л, 30ГСЛ, 10Х18Н9ТЛ	1,0
10Х25Н2Л, 15Х1М1ФЛ	0,9
45Л, 30ХМЛ	0,8
70Л, 30ХГСЛ	0,6–0,7

Если оценивать трещиностойкость по химсоставу стали, то наибольшее влияние оказывает содержание углерода и серы даже в пределах заданного марочного состава. Оптимальным является содержание углерода в количестве 0,2%. Изменения в сторону уменьшения или увеличения повышают образование горячих трещин.

Высокой трещиностойкостью обладают стали 25Л, Х24Н12СЛ, 10Х18Н9Т, отличающиеся высоким уровнем пластических свойств.

На рис. 2.4.12 представлен график влияния температуры заливки перлитной стали марок 25Л, 25ХМЛ, 25ХМФЛ на трещиностойкость. Данные графика показывают положительное влияние молибдена в хромо-молибденовых сталях на снижение образования горячих трещин. При содержании молибдена 0,6% трещиностойкость стали 25ХМФЛ, по сравнению со сталью 25Л, возрастает вдвое, в то время, как 0,2% молибдена в стали 25ХМЛ повышает трещиностойкость лишь на 13%.

Из рассмотренного следует, что в интервале температур заливки сталей (от 1515 до 1600°C) трещиностойкость рассмотренных марок сталей с понижением температуры заливки возрастает.

На рис. 2.4.13 и 2.4.14 представлены диаграммы зависимости трещиностойкости железной основы от температуры заливаемой стали и содержания легирующих элементов. Повышение содержания хрома до 5%, никеля до 20%, титана от 0,4%, кобальта в пределах от 5 до 30%, молибдена в пределах от 3 до 10% и вольфрама в пределах от 1 до 6%

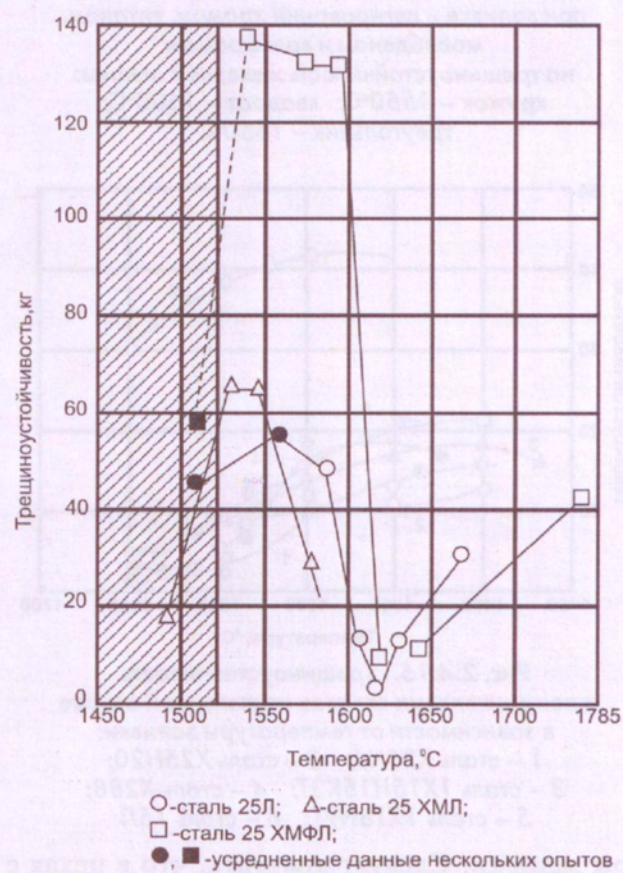


Рис. 2.4.12. Влияние температуры стали при заливке на трещиностойкость перлитной стали

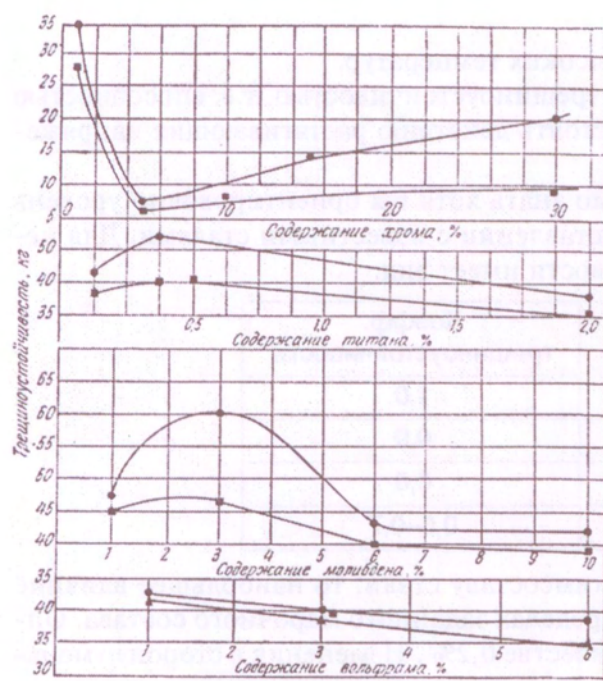


Рис. 2.4.13. Влияние температуры стали при заливке и легировании хромом, титаном, молибденом и вольфрамом на трещиностойкость железной основы: кружок – 1550°C; квадрат – 1600°C; треугольник – 1650°C

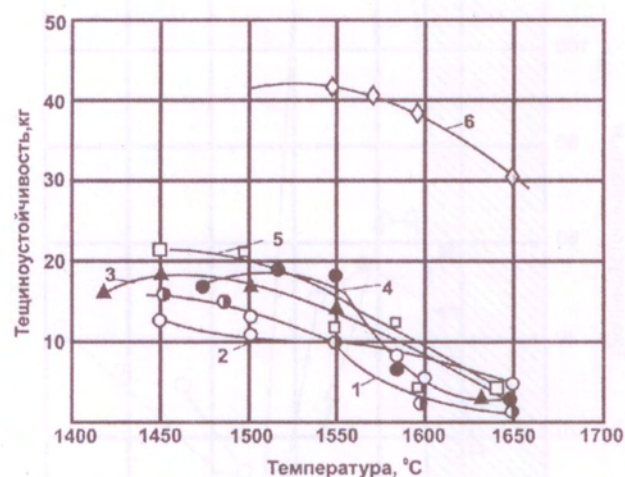


Рис. 2.4.15. Трещиностойкость хромоникелевых сплавов на железной основе в зависимости от температуры заливки: 1 – сталь X25H5; 2 – сталь X25H20; 3 – сталь 1X15H15K3T; 4 – сталь X288; 5 – сталь 1X18H9T; 6 – сталь 15Л

Следует отметить, что в цехах с термически мощными плавильными агрегатами (например, электропечи), где заливку производят, главным образом, при высокой температуре, во избежание горячих трещин стремятся лить «холодно». Если же заливка будет

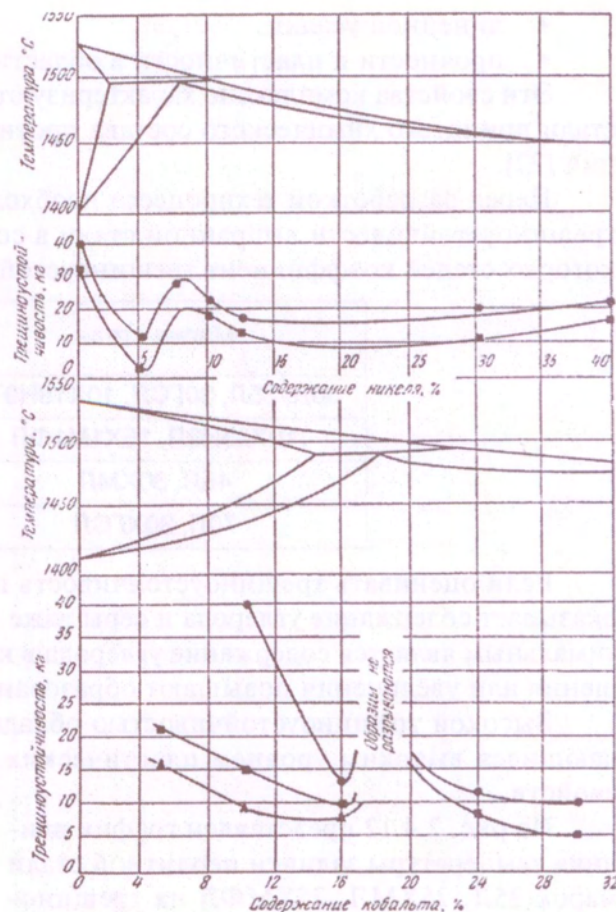


Рис. 2.4.14. Зависимость трещиностойкости от перитектических превращений в стали, легированной никелем и кобальтом: кружок – 1550°C; квадрат – 1600°C; треугольник – 1650°C

способствует снижению трещиностойкости стальных отливок.

На рис. 2.4.15 представлено изменение трещиностойкости наиболее вероятных сочетаний хрома, никеля, титана и кобальта в литых конструкционных сталях. Стали этих композиций значительно менее трещиностойчивы, чем железная основа, причем высоколегированные хромированные сплавы без титана особенно нетехнологичны в этом отношении.

Анализируя представленные рисунки, можно проследить повышение трещиностойкости стали при снижении температу-

ры заливки. Следует отметить, что в цехах с термически мощными плавильными агрегатами (например, электропечи), где заливку производят, главным образом, при высокой температуре, во избежание горячих трещин стремятся лить «холодно». Если же заливка будет

идти «горячо», то, благодаря увеличению продолжительности затвердевания, неизбежно увеличивается межкристаллитная сегрегация серы и фосфора, усиливаются ликвационные явления.

§13. Горячие трещины в отливках из марганцовистых аустенитных сталей

Неравномерная усадка отдельных частей отливки приводит к образованию горячих трещин. Это часто встречается на отливках из высокомарганцевых аустенитных сталей [44].

На рис. 2.4.16а показаны схема отливки двух деталей из марганцовистой аустенитной стали и места расположения трещин. В этом случае трещины образовались из-за того, что литниковая система охлаждается быстрее и изгибает отливки. Меры борьбы с такими трещинами:

1. Заливка формы при низкой температуре металла.
2. Установка ложных ребер.
3. Установка ребер «в» (рис.а), ужесточающих литниковую систему и уменьшающих изгиб отливки.
4. Установка холодильников «б» (рис.а) в местах образования трещин.
5. Тщательное раскисление металла.

В других случаях удается избежать образования трещин заменой конструкции или месторасположения литниковой системы. На рис. 2.4.16б приведена схема отливки решетки из марганцовистой аустенитной стали. Старая литниковая система, вызывающая образование трещин, показана пунктирными линиями.

При повышении температуры заливаемой стали Г13Л происходит переход мелкозернистой равномерной структуры в столбчатую. Как известно [22], крупные

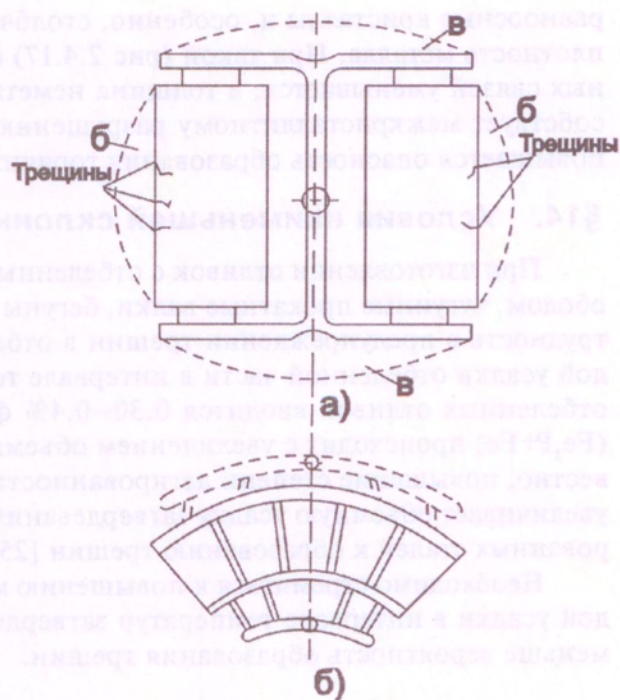


Рис. 2.4.16. Схемы использования различных литниковых систем для изготовления отливок из марганцовистой аустенитной стали: а — быстроохлаждающаяся литниковая система; способствующая образованию трещин; б — схема литниковой системы с минимальным охлаждением, не вызывающая увеличенного изгиба отливки

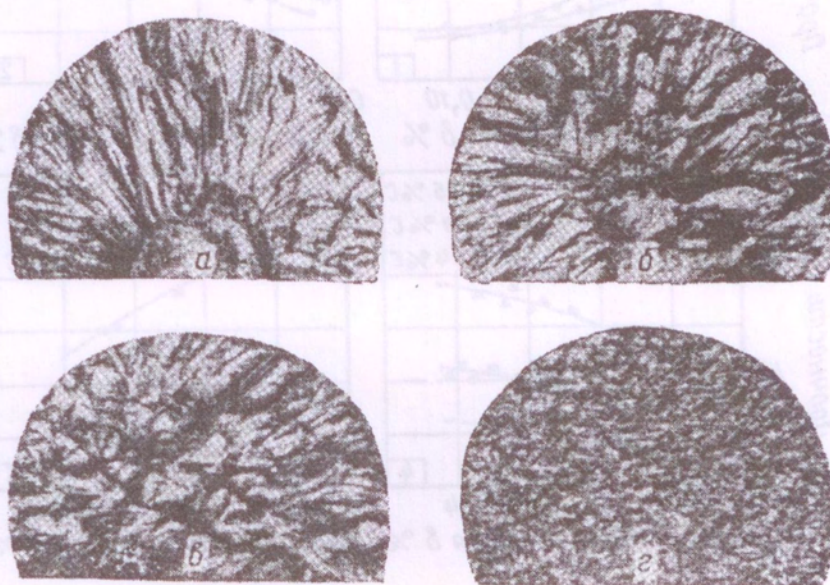


Рис. 2.4.17. Вид излома образца стали Г13Л в зависимости от температуры ее при заливке (перегрев в печи 1650 °C): а — 1585 °C; б — 1520 °C; в — 1480 °C; г — 1430 °C

равноосные кристаллы и, особенно, столбчатость, ухудшают износостойкость и снижают плотность металла. При такой (рис 2.4.17) структуре общая поверхность межкусталлитных связей уменьшается, а толщина неметаллических прослоек увеличивается. Это способствует межкусталлитному разрушению, горячая трещиностойкость снижается и повышается опасность образования горячих трещин.

§14. Условия наименьшей склонности металлов к горячим трещинам

При изготовлении отливок с отбеленным поверхностным слоем (колеса с отбеленным ободом, чугуны прокатных валки, бегуны размалывающих мельниц) возникает большая трудность в предупреждении трещин в отбеленных участках. С целью уменьшения твердой усадки отбеленной части в интервале температур ликвидус — солидус в состав чугуна отбеленных отливок вводится 0,30–0,4% фосфора. Образование фосфидной эвтектики ($\text{Fe}_3\text{P} + \text{Fe}$) происходит с увеличением объема и тем самым снижает общую усадку. Как известно, повышение степени легированности стали хромом, марганцем, молибденом и др. увеличивает объемную усадку затвердевания, что способствует большей склонности легированных сталей к образованию трещин [25, 22].

Необходимо стремиться к повышению механической прочности сплава в период твердой усадки в интервале температур затвердевания. Чем прочнее сталь в этот период, тем меньше вероятность образования трещин.

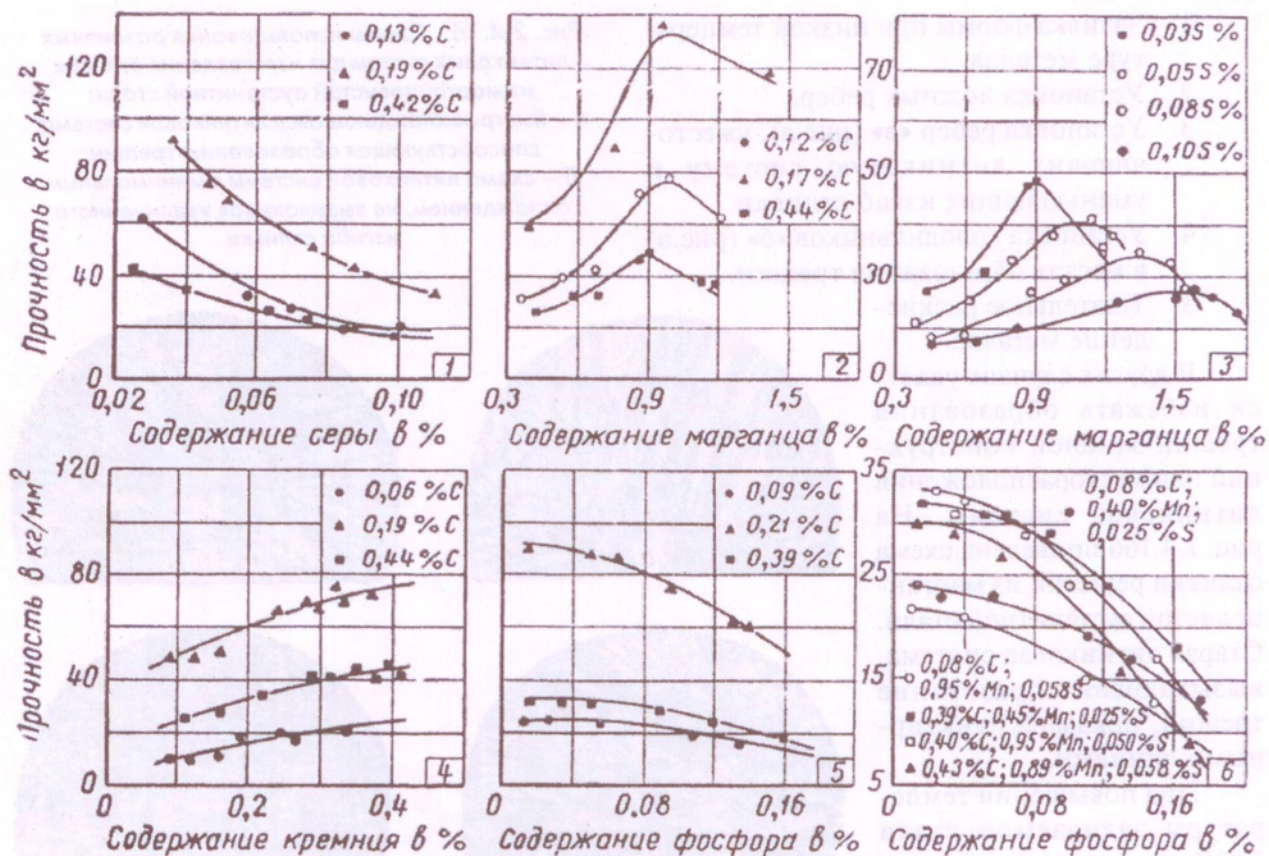


Рис. 2.4.18. Зависимость прочности углеродистой стали от содержания основных элементов при температуре заливки выше ликвидуса на 50 °С:
1 — сера; 2 — марганец; 3 — серы и марганца; 4 — кремния; 5 — фосфора; 6 — фосфора, серы и марганца

На рис. 2.4.18 приведены кривые зависимости прочности стали от содержания основных элементов при образовании трещин.

Трещины обычно образуются в слабых местах отливки. Такими являются те места, которые в интервале затвердевания охлаждаются медленнее и, следовательно, в каждый данный момент имеют больший процент жидкой фазы. Следовательно, отливки с резким переменным сечением более склонны к трещинам, чем отливки с равномерной толщиной. Тонкостенные отливки с большим перепадом температур по сечению при литье в сухие формы желательно заливать в подогретые формы.

При прочих равных условиях трещины на отливках могут появляться в зависимости от плавки.

Склонность к образованию трещин стали, выплавленной в кислой печи, больше, чем стали, выплавленной в основной печи: сталь из кислой дуговой электропечи более склонна к трещинам, чем из основной. Большая склонность кислой стали к трещинам объясняется наличием железосиликатных включений, которые являются легкоплавкими и расширяют критическую область образования трещин. С другой стороны кислая сталь менее газонасыщена и более полно раскислена, поэтому она дает большую усадку при затвердевании, что приводит к образованию горячих трещин.

§15. Температурный интервал образования трещин

На появление горячих трещин решающее влияние оказывают величина усадки, степень краснотомкости металла отливки и сопротивления усадке. Чем больше усадка металла, тем вероятнее образование горячих трещин, а при низких температурах, — и холодных трещин. Чем меньше расстояние от линии солидуса до линии максимальных температур, при которых возникает достаточно прочная связь между первичными кристаллами, тем менее склонен сплав к образованию горячих трещин. В этом случае будет меньше абсолютная усадка сплава в этом интервале. Все примеси, расширяющие этот интервал, будут способствовать образованию горячих трещин.

Образование зональных ликвационных полос происходит в том же интервале температур, при котором образуются и горячие трещины. Можно заключить, что появление внутренних трещин и надрывов происходит по схеме образования зональной ликвации.

Температурное поле отливки

Причиной образования горячих трещин в большинстве случаев является высокая температура заливки стали. Знание о температурном поле отливки поможет технологу в выборе мероприятий по сокращению брака, улучшению конструкции отливок, эффективному расположению питателей, рациональному регулированию скорости заливки, правильному расположению холодильников, подбору смесей с требуемыми коэффициентами теплоаккумуляции и т.д. Например, медленным подводом горячей стали в тонкую часть отливки можно сильнее прогреть форму в этом месте и снизить температуру металла, поступающего в термический узел. С другой стороны, если подвод металла в массивную часть неизбежен, горячую сталь желательно заливать с большой скоростью, так как при этом меньше прогревается форма в термическом узле и в тонкую часть попадает менее остуженный металл. Эти мероприятия позволят отладить температурное поле в отливке при затвердевании. Регулируя скорость заполнения формы и расстановку питателей, можно сократить вероятность возникновения горячих трещин в отливке при высокой температуре заливаемой стали. Применение холодильников или охлаждающих смесей должно сглаживать температурное поле отливки.

Поперечные трещины в отливке вызваны неравномерностью температурного поля в вертикальной плоскости [22].

Продольные трещины вызываются, в основном, неравномерностью температурного поля в горизонтальной плоскости. При заливке снизу это может быть вызвано отклонением струи заливаемого металла в сторону. Аналогичное явление может произойти и при заливке сверху, разогревая один из участков внутренней поверхности формы. При кристаллизации тепловых узлов, затвердевание и упрочнение металла в этом месте замедляется. Благодаря более раннему затвердеванию и усадке металла в других местах, растягивается и разрушается металл у прогретого участка формы. В результате возникают горячие трещины.

На рис. 2.4.19 приведена зависимость общей длины обнаруженных на корпусах горячих трещин от температуры стали при заливке. Увеличение температуры сопровождается увеличением общей длины трещин, т.е. снижением трещиностойкости.

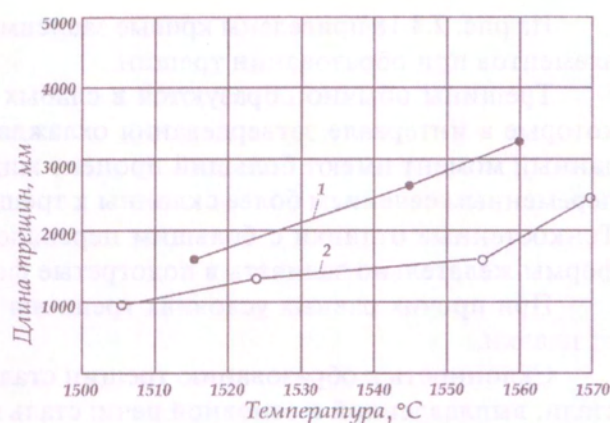


Рис. 2.4.19. Влияние температуры при заливке на общую длину горячих трещин (по оси ординат) в корпусах двигателя, отлитых из углеродистой стали: 1 - $Mn/S = 9:10$; 2 - $Mn/S = 12:13$ (отношение содержания марганца к сере)

Таблица 2.4.4
Длина горячих трещин на литых корпусах электродвигателя в зависимости от температуры перегрева стали в печи и при заливке форм

Температура стали при выпуске, °C	Температура стали при заливке, °C	Общая длина горячих трещин, мм
1650	1505	800
	1515	1630
1675	1505	935
	1525	1290
1730	1550	1550
	1570	2450

В табл. 2.4.4 приведена длина трещин на корпусах двигателя, попарно отлитых из стали одной плавки. Здесь уравнивались такие факторы, как шихтовые материалы, технология выплавки, температура при выпуске и состав стали. Во всех плавках более высокая температура стали при заливке неизменно вызывала больше трещин.

Влияние содержания серы, как вредного элемента, и марганца, как нейтрализующей составляющей, отражено на рис. 2.4.19 двумя кривыми: верхней — для отливок из стали с соотношением марганца к сере, равным 9:10, и нижней — с соотношением, равным 12:13. Это подтверждает низкую трещиностойкость сернистых сталей.

§16. Разное, или Советы бывалого

1. Химический состав металла оказывает важное влияние на возникновение горячих трещин. Даже если по технологии назначена требуемая марка металла, то нет уверенности в том, что фактически используется назначенное. Неправильный химический состав металла может быть следствием:

- небрежной загрузки шихты;
 - неточного ее взвешивания;
 - использования чушковых чугунов, лигатур других марок и т.д.
2. При плавке чёрных металлов с использованием модифицирования в ковше или легирования, имеется опасность чрезмерной стабилизации карбида. Небрежное легирование или чрезмерный перегрев металла, отсутствие контроля за уменьшением размера зёрен приводят к возникновению в отливке значительных напряжений, а зачастую и горячих трещин.
 3. Заливку форм желательно проводить при возможно низкой температуре, обеспечивая при этом заполняемость формы металлом и разупрочнение связующих формы и стержня. Температуру металла можно повысить, если повышена термодеструкция связующих материалов и есть уверенность в более надёжной конструкции отливки. В ряде случаев возникают ситуации, когда требуется очень узкий диапазон температуры заливки металла.
Перемещение литейного конвейера с толчками при слабой набивке форм может вызвать образование горячих трещин в отливках.
 4. Обратная ликвация, т.е. повышенное содержание в отливке ликвирующих примесей по мере продвижения от центра к периферии – важное явление в кристаллизующихся сплавах. Обратная ликвация есть результат двух факторов: наличие заметного перепада температур и достаточно большого интервала затвердевания сплава. В результате этих факторов возникают горячие трещины.
 5. При производстве тонкостенного или крупногабаритного литья с весом до 3 тонн из высоколегированной стали (10X15H15K3ТЛ) при недостаточной температуре заливки заготовки имели дефекты по засорам и пленам. При повышении температуры заливки наблюдалось увеличение пороков по горячим трещинам и пригару.

Влияние температуры при заливке на трещиностойкость данной стали приведены на рис. 2.4.20. Из рисунка следует, что заливка при температуре 1540–1560°C позволила получить литье с минимальным количеством засоров, плен и горячих трещин. При этом температура металла в печи перед выпуском была 1640–1660°C. Падение температуры вызвало остывание стали в ковше (5,5 град./мин) в течение 10 мин, потери при переливе из печи равны 45°C [22].



Рис. 2.4.20. Зависимость трещиностойкости стали к образованию горячих трещин от температуры при заливке: сплошная линия – 10X15H15K3ТЛ; прерывистая линия – 25Л

Глава 2.5. Горячий излом

Описание дефекта

Более или менее глубокие межкристаллические трещины. Излом иногда имеет мелкую дендритную структуру и окисленный вид. Дефект чаще всего появляется на участках, застывающих последними, где возникают напряжения (например, изменения площади поперечного сечения, выступающие углы).

При термической обработке различных видов, в том числе и отжиге, в отливке могут возникнуть временные температурные напряжения. Увеличению этих напряжений способствует неравномерный нагрев отливки, резкий нагрев или охлаждение отливки, возникновение разницы температур между стенками малого сечения и более массивными. Если величина суммарных напряжений превысит предельные значения прочности или пластичности материала отливки, в ней могут образоваться трещины.



Рис. 2.5.1. Дефект отливки «Горячий излом»

Формирование дефекта

С момента образования на поверхности отливки твердой корки, в дальнейшем появляются разрывы сплошности в виде трещины, заметной невооруженным глазом. Трещина имеет острые края и может быть поверхностной или проходить по всему поперечному сечению. Стенки трещины, вследствие окисления при нагреве, окрашены.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Ранняя выбивка отливок

Отливка не может извлекаться из формы сразу же после окончания затвердевания металла и должна некоторое время охлаждаться в ней. При преждевременной выбивке может произойти горячий излом или разрушение отливки ввиду низкой прочности металла вблизи точки кристаллизации.

Для устранения препятствий усадки, залитые формы рекомендуют после заливки тут же разрыхлять. При этом обнажаются толстые части и оставляются закрытыми смесью тонкие части.

Необходимая продолжительность охлаждения отливки в форме зависит от скорости охлаждения и температуры, при которой можно производить выбивку, не опасаясь развития в ней дефектов. Большинство исследователей считают, что наиболее приемлемая температура выбивки отливок из углеродистой стали находится в пределах 600°C. Однако, при охлаждении отливки в литейной форме нельзя получить одинаковое изменение температуры всех её частей. Более массивные стенки охлаждаются медленнее ос-

тальных и поэтому их температуру принимают за основу при определении температуры выбивки.

§2. Условия возникновения горячего излома

На образование в отливках горячего излома оказывает влияние ряд причин:

1. Залив металла на поверхность формы вследствие его вытекания через открытые выпоры. Удалять залив нужно очень быстро до момента его затвердевания. Другой вариант ликвидации состоит в установке открытых прибылей, где будет возможность наблюдать за изменением уровня стали в форме.
2. Использование конических открытых прибылей приводит к возникновению вертикальных осевых напряжений с возможностью разрушения элементов отливки или её части.
3. Слишком близкое расположение рёбер жёсткости (шпон) опоки от стояка, прибыли, литников мешает нормальному движению металла в литниковой системе (в связи с захламляющим воздействием). Стояк или прибыль в этом случае действуют как рычаг, создавая деформацию отливки в различных её частях.
4. Неправильно выбранный или невыдержанный химсостав стали, склонный к краснотекучести или повышенной усадке. Вызвано небрежной загрузкой и взвешиванием шихтовых материалов при отсутствии контроля.

§3. Транспортировка горячих отливок

После затвердевания отливки выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки. Высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки на некоторых этапах её перемещения. К месту разрушения отливок можно отнести выбивную решётку, загруженную менее чем на 30%. В это время решётка увеличивает свою амплитуду колебаний и отливка подбрасывается на большую высоту с последующим интенсивным ударом о решётку.

При транспортировке отливок с высокой температурой выбивки нежелательна переброска отливок с выбивной решётки или с эпрона в тару. В результате соударений отливок между собой или о тару возможно возникновение горячего излома.

§4. Разное, или Советы бывалого

1. Разветвленная, массивная литниковая система замедляет нормальную усадку и вызывает напряжения в отливке. Особенно это относится к углам, находящимся под большими напряжениями. При извлечении отливки на участке выбивки возможно возникновение горячего излома.
2. Плотная набитая влажная формовочная смесь создаёт условия для возникновения трещин и излома. Особая опасность наступает при твёрдости формы от 90 единиц и выше. Одновременно с твёрдой набивкой на возникновение горячего излома оказывает влияние слабая набивка форм.
3. Большое влияние на возникновение напряжений и горячих изломов оказывает транспортировка отливок после заливки. В это время происходит процесс охлаждения и возникновения перепадов температур в опасных местах отливки, где имеются различные по толщине сечения стенок. Перемещение литейного конвейера с толчками и ранняя выбивка неизбежно может привести к горячему излому отливки.

Раздел 3. Усадочные раковины

Глава 3.1. Раковина усадочная открытая

Описание дефекта

Выходящая наружу раковина обычно располагается в верхней массивной части отливки и имеет форму воронки, продолжением которой могут являться изолированные полости. Стенки этих полостей шероховатые, чаще всего дендритные. Дефект может начинаться во входящих углах отливки, у питателей и иметь цвет поверхности недоливки, т.е. серовато-синий. Усадочные раковины обычно образуются в утолщенных местах отливки, которые затвердевают в последнюю очередь.

Формирование раковин

Явление усадки вызвано сокращением объема и линейных размеров отливки в форме в период застывания залитого металла.

После заливки в форму жидкий металл охлаждается и у поверхности контакта с формой образуется корка затвердевшего металла. При значительном уменьшении скорости затвердевания металла в верхней части отливки, вызванном утолщением конструкции, разогревом заливаемым металлом или другими способами, корка металла в верхней части не образуется и жидкий металл используется на подпитку нижних слоев металла, которые в это время уменьшаются в объеме. В результате металл из верхней части отливки опускается вниз и в верхней части образуется открытая воронка с явно выраженными дендритными стенками, называемая открытой усадочной раковиной.



Рис. 3.1.1. Отливка «Шестерня цепная» с дефектом «Раковина усадочная открытая»

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Технологичность отливки

Разница в толщинах стенок

При конструировании отливки надо стремиться к получению минимальной разницы толщин сопрягаемых стенок для снижения возможности получения усадочных дефектов. Если по конструктивным соображениям избежать этого нельзя, то следует выполнить правильный переход от тонких стенок к толстым или к массивным частям (см. 2.1. §11: сопряжения под острым углом и далее).

При повышенной склонности металла к образованию усадочных раковин, отливки следует располагать так, чтобы массивные части были сверху или сбоку по разьему, что позволяет удобно устанавливать прибыли. Массивные части отливок из серого чугуна следует располагать в нижней полуформе, а при формовке в одной полуформе — внизу. Направ-

ленная кристаллизация отливок при этом обеспечивается применением металлических холодильников или смесей с повышенной теплопроводностью. Наиболее ответственные части отливок также следует располагать в нижней части формы или, в крайнем случае, вертикально, что уменьшает дефекты по неметаллическим включениям, усадочным и газовым раковинам. Целесообразно рассмотреть возможность разрядки термического узла отливки установкой песчаного или металлического стержня.

Технологичные отливки не только позволяют удешевить изготовление литья, но и уменьшить опасность появления брака. При доработке конструкции отливки следует обратить внимание на некоторые особенности литейной технологии:

- при наличии термических узлов, необходимость которых продиктована особенностью конструкции, должно соблюдаться правило направленного затвердевания;
- для создания одинаковых условий охлаждения разных зон отливки, необходимо соблюдать требования равенности отливок. В ряде случаев следует даже утолщать периферийную зону отливки, так как наружная поверхность отливки имеет большую скорость охлаждения по сравнению с внутренней;
- рассмотреть целесообразность разрядки термического узла отливки установкой песчаного или металлического стержня;
- попытаться разрядить тепловой узел вписанием в него элементов формы или стержня таким образом, чтобы не нарушить конструктивной жесткости или не лишить данного места его смыслового значения.

На возникновение усадочных раковин оказывает влияние целый ряд причин. Иногда дефект возникает от влияния нескольких из них. На рисунке 3.1.2а представлена отливка «Маховик» с усадочной раковиной. В формировании дефекта приняли участие три причины: утолщенный питатель, высокая температура заливки, разогрев нижней части формы. После устранения указанных причин дефект не появлялся.

§2. Направленное затвердевание отливки

Направленное затвердевание применяется для получения плотной отливки без усадочных раковин и пористости. Характер направленности затвердевания зависит от свойств материала и конфигурации отливки, от положения отливки в форме, от места расположения прибылей и питателей, от теплофизических свойств формы и холодильников (см. 2.4. §4).

§3. Технологические припуски

Припуски на механическую обработку даются на всех обрабатываемых поверхностях отливки. Величина припуска зависит от положения поверхности при заливке, метода формовки, величины отливки и самой обрабатываемой поверхности. Наибольшие припуски предусматриваются для поверхностей, которые при заливке обращены вверх, так как они больше всего подвержены образованию дефектов, в том числе и усадочным явлениям.

Ряд дефектов отливок, в том числе и небольшую открытую усадочную раковину, можно ликвидировать путем увеличения припуска в месте ее образования. Если поверхность обработки большая, припуск можно выполнять лишь на область усадки.

Верхняя поверхность отливки «Диск» (рисунок 3.1.3) имеет усадочную раковину на небольшую глубину, входящую в рабочее тело отливки. При выполнении в области образования усадки местного увеличения тела отливки, усадочная раковина не повреждала отливку.



Рис. 3.1.2а. Отливка «Маховик»
с открытой усадочной раковиной

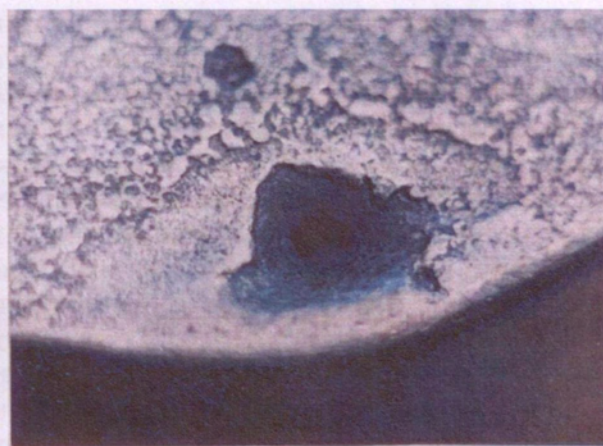


Рис. 3.1.2б. Фрагмент отливки «Маховик»
(увеличено)



Рис. 3.1.3. Отливка «Диск»
с открытой усадочной раковиной



Рис. 3.1.4а. Отливка «Штырь»
с усадкой

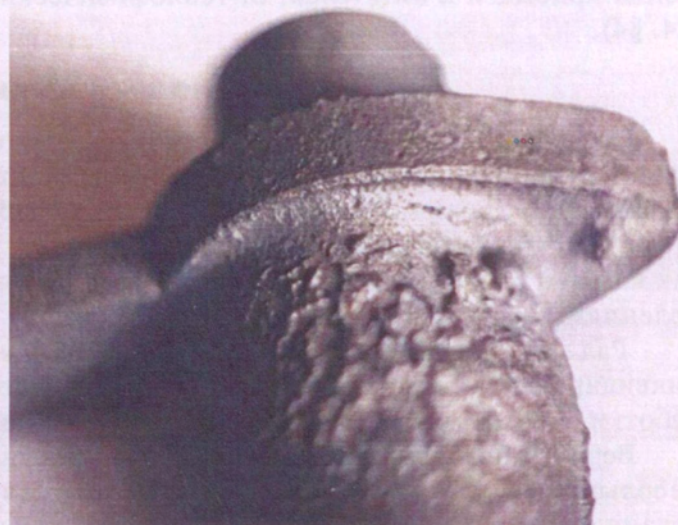


Рис. 3.1.4б. Фрагмент отливки «Штырь»
с дефектом (увеличено)

§4. Температура заливаемого металла

Сталь

Температура заливаемого металла оказывает влияние на возможность образования усадочных дефектов в стальных отливках.

В таблице приведены интервалы температуры заливки углеродистой стали с учетом снижения усадочных дефектов.

Содержание углерода, %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Интервалы температуры заливки, °C	1540–1570	1530–1560	1520–1550	1510–1540	1505–1535	1500–1530	1490–1520

Дополнительную информацию по температуре заливаемого металла можно посмотреть в 1.2. §7.

Определение температуры заливки сводится к выбору необходимого понижения температуры стали, принимаемого сверх температуры начала затвердевания. При изготовлении отливок, склонных к усадочным проявлениям (толстостенные с местными скоплениями металла и др.), допускается минимальный перегрев стали на 10–40°C и ниже. Это относится к отливкам, на которых возможно возникновение газоусадочных раковин, открытых и закрытых усадочных раковин, усадочной пористости.

Чугун

Общеизвестным фактом является уменьшение объема залитого в форму чугуна при последующем его охлаждении. В результате снижения объема, в верхних тепловых узлах возможно появление открытых усадочных раковин. Чем выше температура заливаемого в форму металла, тем больше будет проявляться эффект усадки и увеличиваться размер усадочной раковины. В ряде случаев, для снижения усадочной раковины производят заливку охлажденного чугуна. Это оправдано при изготовлении простых отливок, но недопустимо при производстве сложного, фасонного литья. Как известно, для снижения возможности образования газовых раковин и некоторых других дефектов, используют чугун с температурой не ниже 1380°C. Поэтому, при изготовлении отливок, необходимо определять температуру заливаемого металла исходя из конструктивных особенностей изготавливаемого литья и его склонности к образованию различных дефектов.

Для предупреждения образования усадочных раковин необходимо при разработке технологии заливки каждой детали стремиться к тому, чтобы температура металла отливки по мере приближения к прибыли увеличивалась, — в прибыль должен попадать наиболее горячий металл.

Для получения литья повышенного качества можно пользоваться и комбинированными приемами снижения дефектности отливок. К примеру, заливаемая отливка склонна к появлению газовых и усадочных раковин: следовательно, для снижения газовых раковин металл должен быть горячим, а для снижения усадочных раковин — холодным. Тем не менее, есть компромиссное решение по снижению температуры заливаемого металла без повышения опасности образования газовых раковин. Для этого надо выполнить **вентиляцию стержней и формы** с условием получения максимальной длины пути фильтрации газа в пределах 3–4 см. При хорошей вентиляции допустимо снижение температуры заливаемого металла до 40°C и более. Такие условия снижения температуры окажут положительное влияние на сокращение возможности образования усадочных раковин.

Другой пример — создание направленного локального отверждения теплового узла использованием холодильника или захолаживающей смеси (хромитовые или хромомagne-

зитовые смеси, кирпичи на их основе и т.д.). Холодильник или облицовочную смесь помещают под тепловой узел (заформовывают в стержень или форму). При заливке металла происходит интенсивный отбор тепла в сторону холодильника, что способствует направленной кристаллизации металла и значительному снижению или полной ликвидации усадочной раковины.

Влияние высокой температуры на возникновение усадочных раковин можно увидеть на рисунке 3.1.4, где представлена отливка «Штырь» с усадочной раковиной или «Утяжиной». Чугун плавил в индукционных печах, температура заливаемого металла колебалась от 1350 до 1420°C, постоянного замера температуры не проводилось. В результате дефект появлялся и исчезал. После установления контроля температуры дефект не появлялся.

§5. Подвод металла к отливке

Сталь

После установления типа литниковой системы должно быть выбрано число и место подвода питателей к отливке. Соответствующие рекомендации изложены в 2.1. §2.

Чугун

Ниже приводятся традиционные рекомендации подвода металла к отливке, в том числе и позволяющие уменьшить усадку отдельных мест отливки:

1. Подвод металла в тонкое место отливки способствует выравниванию скорости охлаждения тонкой и более массивной частей отливки, уменьшению напряжений и усадочных раковин.
2. При расположении питателей желательно, чтобы струя не ударяла в стенку формы или стержня, горизонтальные поверхности формы быстро покрывались металлом.
3. Уровень металла в форме в процессе заливки должен изменяться равномерно, прерывание струи металла недопустимо.
4. Части стержней с вентиляционными каналами не должны перегреваться потоком подводящего металла.
5. Для чугунных отливок целесообразна система запертого типа (способствующая задержанию шлака), сужающаяся (быстрое заполнение металлом с положительным давлением).
6. Для уменьшения скорости потока чугуна в каналах используются тормозящие литниковые системы. Их отличие в использовании местного сопротивления — дросселя (например, в виде сетки, щели, внезапного сужения канала и последующего расширения и т. д.).

Влияние неправильного подвода металла в отливку, с образованием усадочного дефекта (утяжины), представлено на рисунке 3.1.5, где показан фрагмент отливки «Корпус распределителя» с усадочной раковиной от поверхности стержня в нижнюю часть отливки. Именно в это место был осуществлён подвод металла с повышенной температурой. Выполнение литниковой системы с рассредоточенными питателями и заливка металлом с пониженной температурой позволило ликвидировать рассматриваемый дефект.

§6. Толщина корки затвердевшей стали

Быстрое формирование корки затвердевшего металла в форме в большинстве случаев оказывает влияние на снижение дефектов усадочного происхождения и др. В тоже время медленное образование корки металла способствует увеличению количества дефектов уса-

дочного происхождения. Поэтому интересно ознакомиться с условиями формирования корки металла при его движении в форме. На рис. 3.1.6 представлено влияние температуры металла и времени его течения на толщину затвердевшей корки [25] (1.7. §12).

§7. Содержание фосфора и хрома в металле

На образование усадочных раковин, особенно мелких, оказывает влияние высокое содержание фосфора в металле. Образующаяся фосфидная эвтектика при затвердевании уменьшается в объеме, в результате чего образуются поры. При литье металла в податливые формы с повышенным содержанием фосфора, увеличивается его предусадочное расширение, что связано, по-видимому, с малой прочностью затвердевающей корки, которая при наличии фосфора длительное время находится в твердожидком состоянии [9].

Отрицательное влияние фосфора в нелегированном сером чугуна становится заметным уже начиная с 0,12...0,18%.

Для получения малофосфористого чугуна в вагранке с кислым шлаком, необходимо отбирать чистую по фосфору шихту. При введении в вагранку в качестве флюса известняка в количестве 7% от веса металла и железной руды в количестве 1% от веса металла, степень обесфосфоривания чугуна достигает 30%. Лучшие результаты получаются при выплавке чугуна с температурой 1300–1350 градусов, при повышении температуры чугуна до 1400–1450 градусов степень обесфосфоривания уменьшается.

Следует заметить, что процессы обесфосфоривания и обессеривания одновременно протекать не могут. Для лучшего обессеривания надо добиваться снижения FeO в шлаке и максимального повышения температуры. Для лучшего обесфосфоривания надо добиваться повышения содержания FeO в шлаке, не допуская повышения температуры выше оптимальной.

Для повышения прочности чугуна проводят его легирование различными элементами. Чаще всего для этой цели применяют хром, молибден, ванадий и др. Эти элементы образуют растворы замещения преимущественно с цементитом, например $(Fe, Cr)_3C$ – $(Fe, Mo)_3C$ – $(Fe, V)_3C$. При превышении определенной концентрации эти элементы образуют специальные фазы – карбиды (например, Cr_7C_3 и V_4C_3) и тем самым тормозят графитизацию, вызывают размельчение графитовых включений и упрочнение металлической матрицы.

Таблица 3.1.3. Влиянии хрома и других элементов на усадочные дефекты

Массовая доля элементов, %				Характеристика дефектов
P	Ni	Mo	Cr	
0,1	-	-	-	Пористость отсутствует
0,245	-	-	-	Концентрированная усадочная раковина
0,13	2,15	-	-	Пористость отсутствует
0,13	-	0,54	-	Концентрированная усадочная раковина
0,13	-	1	-	Резко выраженная концентрированная усадочная раковина
0,13	-	-	1	Рассеянная усадочная пористость
0,66	0,66	0,83	0,84	Концентрированная усадочная пористость
0,04	0,66	0,83	0,84	Пористость отсутствует

В таблице 3.1.3 показано влияние P, Ni, Mo, Cr или их комбинаций на возникновение усадочных дефектов.

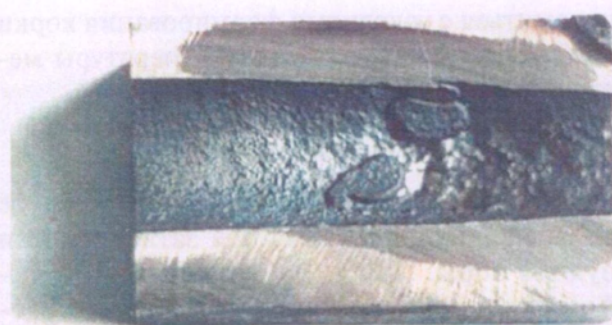


Рис. 3.1.5а. Отливка «Корпус распределителя» с усадочным дефектом



Рис. 3.1.5б. Фрагмент отливки «Корпус» (увеличено)

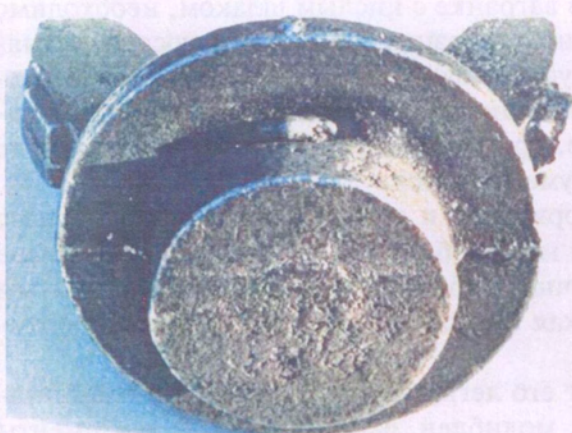


Рис. 3.1.6а. Отливка «Кронштейн» с открытой усадочной раковиной

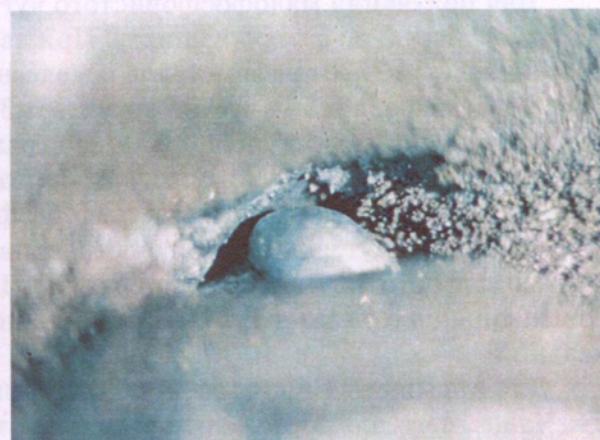


Рис. 3.1.6б. Фрагмент отливки «Кронштейн» (увеличено)



Рис. 3.1.7а. Отливка «Шестерня цепная» с усадочной раковиной

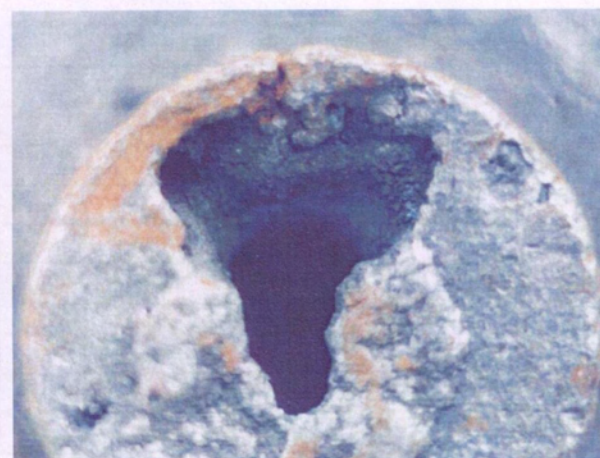


Рис. 3.1.7б. Фрагмент отливки «Шестерня цепная» (увеличено)

При увеличении в чугуне фосфора, молибден и хром ликвидируют в фосфидной эвтектике с содержанием молибдена до 8,3%, а хрома до 2,4%. При этом резко возрастает объем фосфидной эвтектики, а затвердевание ее происходит уже не по стабильной, а по метастабильной системе с более резким сокращением объема. Оба указанных обстоятельства определяют повышенную склонность хромомолибденовых чугунов к образованию усадочной пористости и необходимость снижения критического содержания фосфора в этих чугунах.

Следовательно, для снижения усадочных явлений в сером чугуне содержание молибдена должно быть, в данном случае, не более 0,2%, а содержание хрома не более 0,5%.

Повышенное содержание фосфора в чугуне оказывает влияние на образование усадочных раковин. Это можно увидеть на рисунке 3.1.6, где представлена отливка «Кронштейн», в верхней массивной части которой имеется открытая усадочная раковина. При увеличении (рис. 3.1.6б) виден фосфидный «выпот», свидетельствующий о повышенном содержании в чугуне фосфора. Кроме этого, отрицательным в технологии получения этой отливки было использование двух толстых питателей в отводные части кронштейна и повышенная температура заливки.

§8. Углеродный эквивалент чугуна

Величина углеродного эквивалента оказывает значительное влияние на изменение дефектности по усадке металла [29]:

1. Объем усадочных раковин уменьшается по мере увеличения углеродного эквивалента чугуна доэвтектического состава. Величина углеродного эквивалента определяется как $C_{\Sigma} = C + 0,3Si$. Для снижения усадочных раковин наиболее оптимальным является углеродный эквивалент, равный 4–4,2.
2. Если наблюдается усадка (усадочная раковина), можно повысить содержание углерода и кремния настолько, насколько это позволяют требования к механическим свойствам, с наибольшим возможным соотношением C/Si .
3. Если наблюдается расширение (ложная усадочная раковина), понизить содержание эвтектического графита посредством снижения пропорции графитизирующих элементов (углерод, кремний), добавления аустенитообразующих элементов или повышения их пропорции (марганец, никель, медь, олово, азот) и увеличения скорости кристаллизации.

Снижение содержания углерода в чугуне способствует увеличению усадочных раковин. Особенно проявляется это при повышенной температуре заливаемого чугуна. Влияние пониженного содержания углерода на возникновение усадочной раковины показано на рисунке 3.1.7, где представлена отливка «Шестерня цепная» с открытой усадочной раковиной. Брак отливки ликвидирован введением углеродного боя в жидкий металл.

§9. Наружные холодильники

Регулирование скорости охлаждения тепловых узлов отливки производится с помощью наружных холодильников. Установка холодильников ускоряет охлаждение тепловых узлов, что бывает необходимо для обеспечения направленного или одновременного затвердевания отливки. Ускоряя охлаждение узла, холодильник предотвращает образование в нем усадочной раковины, так как теперь узел успевает пропитаться за счет позднее затвердевающих частей отливки. Ускорение охлаждения массивных сечений отливок холодильниками, способствуя выравниванию скорости охлаждения, может привести к уменьшению усадочных явлений в отливке (см. 2.1. §3).

На рисунке 3.1.9 представлена отливка «Маховик» с открытой раковиной в месте подвода металла. В данном случае наблюдается термический узел с подводом в него металла.

Для ликвидации дефекта без изменения технологии изготовления, под термический узел установлен металлический холодильник, а подвод металла выполнялся через венцы маховика. Таким образом, создавалась направленная кристаллизация металла в термическом узле. Усадочная раковина не появлялась.

§10. Прочность формы

Прочность сырой литейной формы оказывает влияние на изменение усадочных процессов в отливке. При заливке металла в слабоуплотненную форму происходит уплотнение последней за счёт динамического и металлостатического давления. В результате стенка формы будет сдвигаться в сторону увеличения отливки и эффект усадки возрастать. Это относится к формам, обладающим твёрдостью 50–70 единиц. При доведении твёрдости поверхности формы до 85 единиц и выше значительно уменьшается уплотнение смеси металлом и влияние усадочных процессов сокращается.

При сильном торможении линейной усадки формой, значение объема усадочных раковин может свестись к нулю или даже стать отрицательным. Последнее возможно, например, при заливке чугуна в металлические формы, когда, вследствие полного торможения линейной усадки, жидкий металл вытесняется в выпор или прибыль. Также, но в меньшей степени, влияет сухая форма, причем эффективность жесткости формы тем больше, чем меньше коэффициент объемного расширения и больше свободное предусадочное расширение.

§11. Прибыли

Прибыль представляет собой непредусмотренный чертежом отливки технологический прилив, затвердевающий позднее отливки и располагающийся так, чтобы обеспечивать близлежащие слои отливки поступлением жидкого металла. Различают прибыли открытые и закрытые, шаровые, полушаровые и конические. В зависимости от условий, прибыли подразделяются на следующие виды:

- обычные, — когда стенки формы, образующие контуры отливки и прибыли, практически не различаются по своей теплоаккумулирующей способности;
- теплоизолированные, — когда прибыль окружает низкотеплопроводный материал;
- обогреваемые экзотермическими смесями, электродугой и др.;

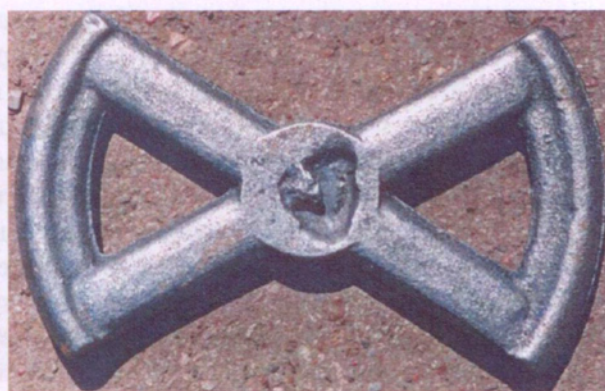


Рис. 3.1.9. Отливка «Маховик» с усадочной раковиной



Рис. 3.1.10а. Отливка «Опора» с открытой усадочной раковиной



Рис. 3.1.10б. Фрагмент отливки с дефектом (увеличено)

- газового и атмосферного давления.

Схемы разновидностей прибылей приведены в 2.1. §2.

При выборе мест расположения и определении числа прибылей, необходимо учитывать следующие основные положения:

1. Усадочные раковины образуются в местах отливки, затвердевающих последними (наиболее массивные её части, местные утолщения, узлы сочленения смежных стенок и др.).
2. Прибыли прямого питания, помимо своей основной функции, служат сборниками всплывающих засоров и неметаллических включений.
3. Открытые прибыли, располагаемые над самыми верхними частями отливки, выполняют также и роль выпоров; применение закрытых прибылей не исключает необходимость устройства выпоров.
4. Прибыли способствуют увеличению стеснённой усадки отливки и тем значительнее, чем больше прибылей применяется.
5. Расположение прибылей над массивными частями отливки замедляет скорость охлаждения, способствуя развитию литейных напряжений в отливке. В таких случаях питание отливки целесообразно сочетать с условиями применения холодильников.
6. Расположение прибылей в местах заведомо стеснённой усадки отливки способствует образованию горячих трещин, особенно в зонах сочленения прибылей со стенками отливки.
7. Для последовательного затвердевания отливки металл подводят в прибыль или под прибыль в массивное место отливки. В этом случае наиболее разогретым местом отливки будет прибыль, питающая отливку, что и обеспечивает последовательное затвердевание отливки и концентрацию усадочной раковины.

Влияние отсутствия прибыли на отливки можно увидеть на рисунке 3.1.10а, где представлена отливка «Опора» с открытой усадочной раковиной (утяжина), на рисунке 3.1.10б — увеличенная ее часть с дефектом. Дефект образовался в результате отсутствия в литниковой системе питающей прибыли для подпитки усадочных мест. Дефект также может быть исправлен заливкой охлажденного металла с установкой захлаживающих элементов в нижней части отливки.

§12. Заполняемость форм металлом

Заполняемость формы является важным моментом для получения отливок без дефектов. Заполняемость повышается при увеличении сечения стояка и литникового хода и уменьшении их длины, так как это позволяет сохранить более высокую температуру металла при его поступлении в форму. Увеличение скорости заполнения (без разрушения формы) увеличивает заполняемость (см. 1.8. §1).

§13. Расположение усадочной раковины

При получении качественного стального литья полезней иметь концентрированную объемную усадочную раковину в виде раковины большего объема, чем разбросанную по всему телу отливки усадочную раковину и пористость. Концентрированную усадочную раковину всегда можно вывести в прибыль, обеспечив направленное затвердевание в форме. При этом отливка будет более плотной и прочной, чем при рассеянной по всему телу рыхлоты и пористости. Поэтому, чем больше усадочная раковина, тем меньше объем пористости, и наоборот.

На рис. 3.1.11 показано влияние температуры заливаемой стали 25Л на концентрацию ее объемной усадки. Из представленного видны явно параллельные изменения плотности ста-

ли и объема усадочных раковин в опытных литых образцах, отлитых при разных температурах в сухие песчано-глинистые формы [22].

Аналогичные закономерности получены на плоских слитках (рис. 3.1.12). Материалы показывают, что снижением температуры при заливке можно увеличить концентрацию объемной усадки, повысить литейную технологичность стали и улучшить эффективность действия прибылей.

§14. Разное, или Советы бывалого

1. Заливка холодным металлом даёт усадочную раковину меньших размеров, а усадочную пористость — больших. Горячий металл даёт резко увеличенную усадочную раковину в прибыли, но меньшую пористость в подприбыльной части.
2. Скорость заливки форм действует в том же направлении, что и температура. При большой скорости заливки металл меньше отдаёт тепла форме и больше прибыли, т.е. сосредоточенная раковина в прибыли будет больше, а рыхлость отливки меньше.

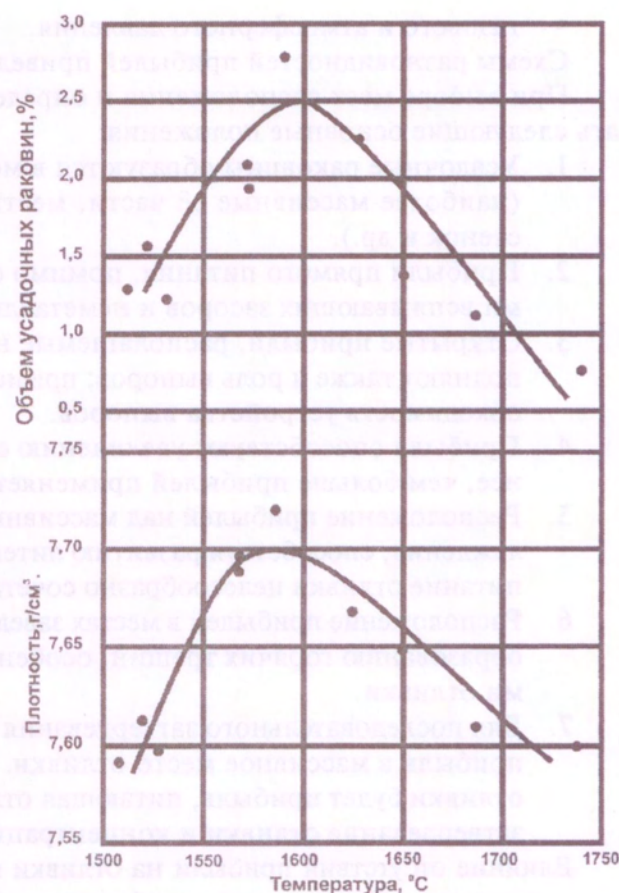


Рис. 3.1.11. Влияние температуры при заливке на концентрацию объемной усадки стали 25Л



Рис. 3.1.12. Изменение концентрации объемной усадки в зависимости от перегрева при заливке сложнолегированных сплавов:
1 — X25H20; 2 — X25H5; 3 — 1X18H9T; 4 — X28; 5 — 1X16H15K3; 6 — 35Л

3. Недостаточная высота опоки снижает металлостатическое давление до предела, за которым подача расплава затрудняется и возникает опасность образования усад-ки. При невозможности увеличить высоту опоки можно использовать нарошталку прибыли и литниковые воронки на стояке.
4. При большом питателе усадочная раковина может образоваться в шейке или в теле отливки. Через большой питатель струя металла быстро нагревает окружающую смесь и металл закристаллизуется в ней последним. Это часто встречается в индивидуальном или опытном производстве, где питатель вырезается в форме вручную. Такие случаи бывают и в мелкосерийном производстве.
5. Небрежная загрузка, неточное взвешивание составляющих шихты, использование неизвестных по составу шихтовых материалов, отсутствие тщательной переборки лома металла с извлечением алюминия и других нежелательных составляющих, неизбежно ведёт к нарушению химсостава выплавляемой марки металла и, возможно, к увеличению усадочных дефектов.

Глава 3.2. Раковина усадочная закрытая

Описание дефекта

Закрытые полости, с шероховатыми стенками, одиночные или рассеянные. Цвет поверхности дефекта темно-синий. Дефект располагается в зонах, которые затвердевают в последнюю очередь, или располагается вблизи питателей.

Формирование раковин

Плотную отливку, без усадочных раковин, можно получить лишь в том случае, если усадка каждого кристаллизующегося слоя будет компенсироваться притоком к нему новых порций жидкого металла, т.е. если этот слой будет получать «питание». При наличии в центральной части термического узла отливки жидкого металла, питание отливки будет протекать нормально.

Усадка на отдельных участках кристаллизующегося слоя компенсируется перемещением маточного раствора в самом этом слое, а общая убыль объема металла во всем слое восполняется поступлением перегретой жидкости из соседней зоны, где кристаллизация еще не начиналась. Расход жидкого металла на питание последовательно кристаллизующихся слоев приводит к образованию центральной усадочной раковины. При дальнейшем охлаждении металла до температуры несколько ниже линии ликвидуса, зона, целиком занятая жидким металлом, исчезает. В слое, где к этому моменту еще существуют твердая и

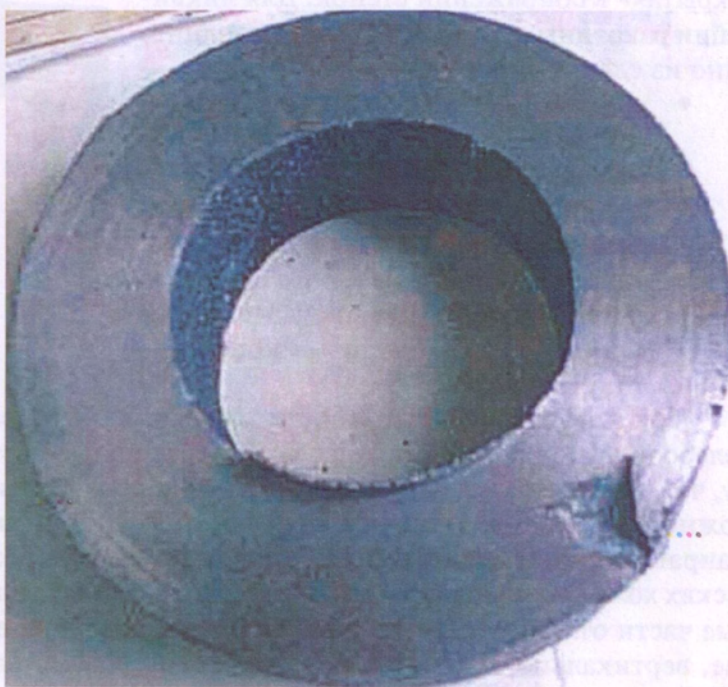


Рис. 3.2.1. Дефект отливки «Раковина усадочная закрытая»

жидкая фазы, кристаллизация продолжается, но уже без участия подпитки из центра отливки. В результате образуется усадочная раковина.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Технологичность отливки

Разница в толщинах стенок

Для ликвидации усадки возможны следующие направления конструктивного изменения сопрягаемых стенок отливки. При конструировании отливки надо стремиться к получению минимальной разницы толщин сопрягаемых стенок для снижения возможности получения усадочных дефектов. Если по конструктивным соображениям избежать этого нельзя, то следует выполнить правильный переход от тонких к массивным частям (см.2.1. §11).

Ознакомиться с расположением усадочной раковины можно на рисунке 3.2.2, где представлен фрагмент чугуновой отливки «Корпус» с дефектом «Раковина усадочная закрытая» в сопряжении стенок. Для ликвидации раковины необходимо было выполнить одно из следующих условий:

- сделать выборку металла со стороны стержня для разрядки термического узла;
- выполнить направленное отверждение термического узла установкой под ним (в стержне) холодильника;
- установить прибыль для удаления раковины без изменения в конструкции отливки.

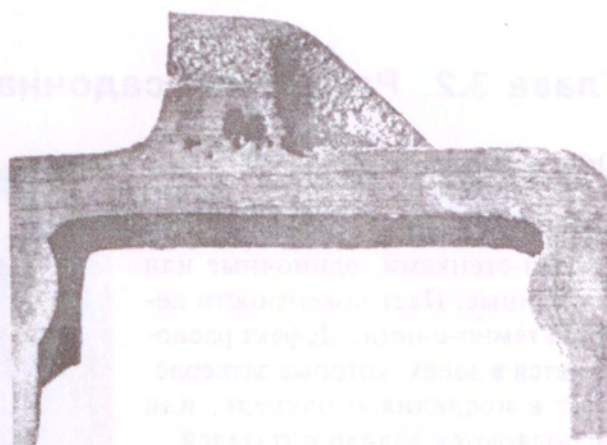


Рис. 3.2.2. Отливка «Корпус» с закрытой усадочной раковинной

При повышенной склонности металла к образованию усадочных раковин, отливки целесообразно располагать так, чтобы массивные части были сверху или сбоку по разъему, что позволяет удобно устанавливать прибыли. Массивные части отливок из серого чугуна можно располагать в нижней полуформе, а при формовке в одной полуформе — внизу. Направленная кристаллизация отливок при этом обеспечивается применением металлических холодильников или смесей с повышенной теплопроводностью. Наиболее ответственные части отливок также следует располагать в нижней части формы или, в крайнем случае, вертикально, что уменьшает дефекты по неметаллическим включениям, усадочным и газовым раковинам. Целесообразно рассмотреть возможность разрядки термического узла отливки установкой песчаного или металлического стержня.

Возникновение усадочных раковин говорит, прежде всего, о том, что на стадии конструирования отливки не было тесного контакта в работе конструктора и литейщика. Технологичные отливки не только позволяют удешевить изготовление литья, но и уменьшить опасность появления брака. При доработке конструкции отливки необходимо обратить внимание на следующее:

- при наличии термических узлов, необходимость которых продиктована особенностью конструкции, должно соблюдаться правило направленного затвердевания;

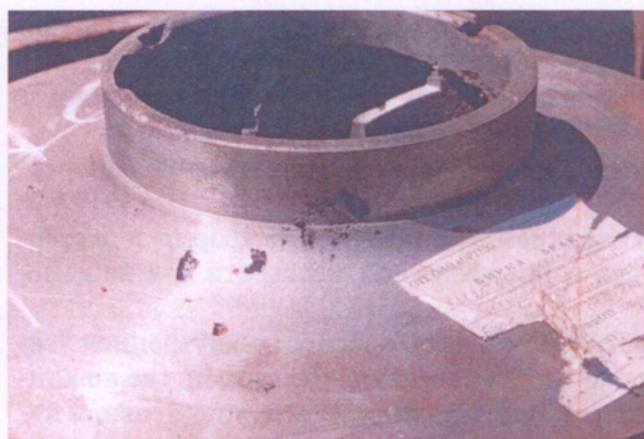


Рис. 3.2.3. Отливка «Колесо рабочее»
с закрытой усадочной раковиной

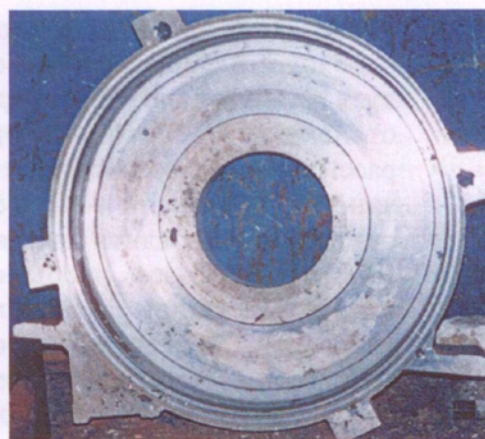


Рис. 3.2.4а. Отливка «Крышка»
с закрытой усадочной раковиной



Рис. 3.2.4б. Фрагмент дефекта
(увеличено)



Рис. 3.2.4в. Фрагмент дефекта
(увеличено)



Рис. 3.2.5а. Фрагмент
отливки «Кольцо» с закрытой
усадочной раковиной



Рис. 3.2.5б. Фрагмент отливки «Кольцо»
(увеличено)

- для создания приблизительно одинаковых условий охлаждения разных зон отливки, необходимо соблюдать требования равномерности отливок. В ряде случаев следует даже утолщать периферийную зону отливки, так как наружная поверхность отливки имеет большую скорость охлаждения по сравнению с внутренней;
- рассмотреть целесообразность разрядки термического узла отливки установкой песчаного или металлического стержня;
- попытаться разрядить тепловой узел вписанием в него элементов формы или стержня таким образом, чтобы не нарушить конструктивной жесткости или не изменить конструкцию самой отливки.

На рисунке 3.2.3 представлена чугунная отливка «Колесо рабочее» с внутренней усадочной раковиной в месте сочленения горизонтальной и вертикальной стенок, где по конструкции имеется наибольшее скопление металла. Здесь налицо нарушение правила направленного отверждения отливки. Для ликвидации усадки возможны следующие направления:

- выравнивание по толщине сопрягаемых стенок, что допустимо в рассматриваемой отливке;
- использование облицовочной захлаживающей смеси (на основе хромагнетитовых, магнезитовых и других материалов с высоким коэффициентом теплоаккумуляции) или металлического кольца-холодильника;
- повышение величины углеродного эквивалента до 4,2 (если при этом не ухудшаются эксплуатационные свойства отливок).

Конструктивные сопряжения стенок с неэффективными технологическими решениями можно увидеть на рисунке 3.2.4, где представлена стальная отливка «Крышка» с дефектом «раковина усадочная закрытая». На рисунке 3.2.4б, в представлены фрагменты этой отливки с увеличенными дефектными местами. Конструктивное изменение отливки не допускалось. Для ликвидации данного дефекта в месте его возникновения были установлены небольшие прибыли.

§2. Направленное затвердевание отливки

Направленное затвердевание применяется для получения плотной отливки без усадочных раковин и пористости. Характер направленности затвердевания зависит от свойств материала и конфигурации отливки, от положения отливки в пространстве, от места расположения прибылей и питателей, от теплофизических свойств формы и холодильников (см. 2.4. §4).

Закрытая усадочная раковина в массивной части отливки представлена на рисунке 3.2.5, на рисунке 3.2.5б — увеличение дефекта. По характеру расположения толщин стенок и раковины видно, что отливка была залита не горячим металлом, отверждалась в закрытой форме, раковина сместилась в сторону стержня. При наличии более горячего металла и прибыльной части, дефект мог бы выйти за пределы отливки. Также можно использовать рассредоточенную литниковую систему с равноудаленными друг от друга питателями.

Закрытая усадочная раковина демонстрируется на рисунке 3.2.6. Отливка имеет дефект в термическом узле, где отсутствует направленная кристаллизация металла. Рядом находится раковина от земли. При установке в нижней части отливки (в форме) холодильника, а в верхней части — небольшой прибыли, было создано эффективное направленное отверждение. Дефект отливки в дальнейшем не повторялся.

Для изучения условий возникновения и ликвидации усадочных дефектов, авторами разработана автоматизированная система «Моделирование объемного и направленного отверждения отливок с ликвидацией или значительным сокращением усадочных дефектов».



Рис. 3.2.6. Отливка «Корпус насоса» с закрытой усадочной раковиной

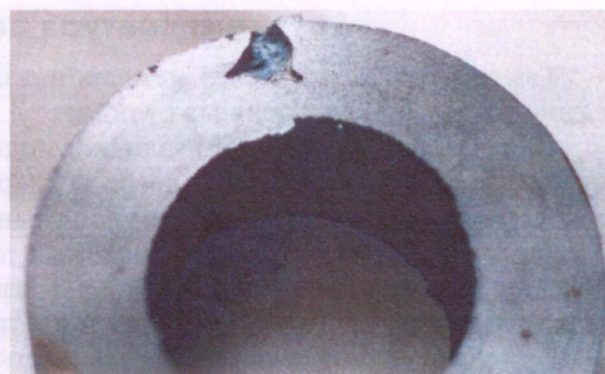


Рис. 3.2.7а. Отливка «Фланец» с закрытой усадочной раковиной



Рис. 3.2.7б. Фрагмент отливки «Фланец» (увеличено)

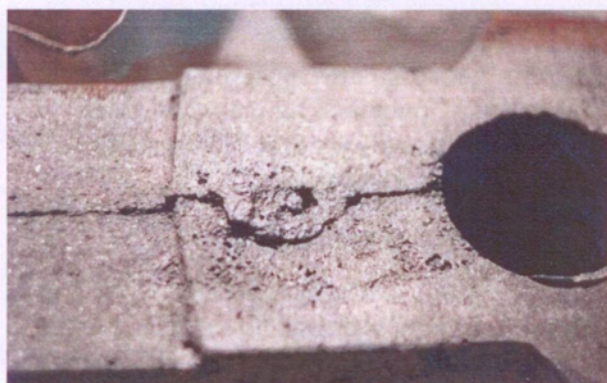


Рис. 3.2.8. Отливка «Стойка» с закрытой усадочной раковиной

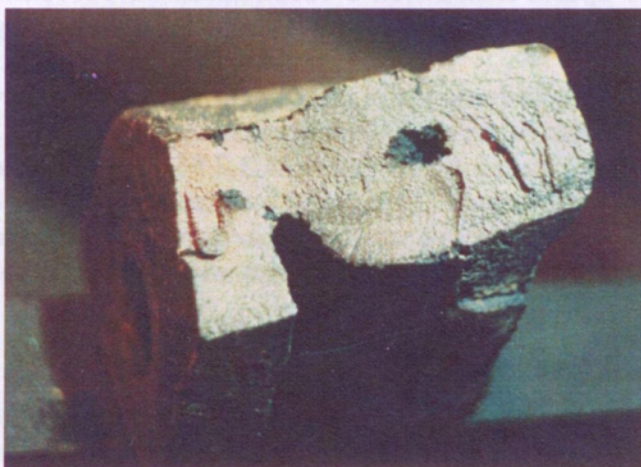


Рис. 3.2.9а. Отливка «Опора» с внутренней усадочной раковиной



Рис. 3.2.9б. Фрагмент отливки (увеличено)

§3. Температура заливаемого металла

Температура заливаемого металла оказывает влияние на возможность образования усадочных дефектов в стальных отливках.

Определение температуры заливки сводится к выбору необходимого понижения температуры стали, принимаемого сверх температуры начала затвердевания. При изготовлении отливок, склонных к усадочным проявлениям (толстостенные с местными скоплениями металла и др.), допускается минимальный перегрев металла на 10–40°C и ниже. Это относится к отливкам, на которых возможно возникновение газоусадочных раковин, открытых и закрытых усадочных раковин, усадочной пористости (см. 3.1. §4).

При повышенной температуре заливаемого металла возникает опасность образования усадочных раковин в термических узлах. Опасность возрастает при разогреве узлов подводящим металлом. Такие условия возникновения дефекта приведены на рисунке 3.2.7, где отливка «Фланец» имеет закрытую усадочную раковину в месте подвода металла. На рисунке 3.2.7б представлен увеличенный фрагмент дефекта. При снижении температуры заливаемого металла и рассредоточении питателей дефект не повторялся.

§4. Подвод металла к отливке

После установления типа литниковой системы следует выбрать число и место подвода литников к отливке.

Основные рекомендации изложены в 2.1. § 2 ; 3.1. § 5.

При заливке металла через увеличенные питатели часто возникают усадочные раковины в самих питателях. Эти дефекты можно рассмотреть на рисунке 3.2.8 в отливке «Стойка». Закрытая усадочная раковина находится в зоне подвода питателя. При рассредоточении подвода металла через щелевые питатели, дефект не появлялся.

§5. Содержание хрома и фосфора в металле

На образование усадочных раковин, особенно мелких, оказывает влияние высокое содержание фосфора в металле. Образующаяся фосфидная эвтектика при затвердевании уменьшается в объеме, в результате чего образуются поры. При литье чугуна с повышенным содержанием фосфора в податливые формы, увеличивается предусадочное расширение чугуна, что связано, по-видимому, с малой прочностью затвердевающей корки, которая при наличии фосфора длительное время находится в твердожидком состоянии. Отрицательное влияние фосфора в нелегированном сером чугуне становится заметным уже начиная с 0,12..0,18% (см. 3.1. § 7).

При повышенном содержании фосфора и увеличенном содержании хрома увеличиваются предпосылки для образования усадочных раковин. На представленном рисунке 3.2.9 отливка «Опора» имеет закрытую усадочную раковину, на рисунке 3.2.9б — увеличенная усадочная раковина. При анализе чугуна установлено повышенное содержание в его составе фосфора (0,3%) и хрома (0,5%). После снижения в металле содержания фосфора до 0,08%, хрома до 0,2% и приведения углеродного эквивалента чугуна до 4, рассматриваемый дефект в отливке не повторялся.

§6. Углеродный эквивалент чугуна

Такое влияние можно увидеть на рисунке 3.2.10, где представлена отливка «Колесо рабочее» с закрытой усадочной раковиной. При анализе металла установлено, что углеродный эквивалент составляет 3,7. Объем усадочных раковин уменьшается с увеличением углеродного эквивалента до 4,2. Для этого необходимо изменить содержание углерода

и кремния до наибольшего соотношения C/Si без изменения служебных свойств отливки.

Величина углеродного эквивалента оказывает значительное влияние на возникновение усадочных раковин (см. 3.1. §8).

§7. Наружные и внутренние холодильники

Установка холодильников ускоряет охлаждение тепловых узлов, что часто бывает необходимо для обеспечения направленного или объемного затвердевания отливки. Ускоряя охлаждение узла, холодильник предотвращает образование в нем усадочной раковины, так как теперь узел успевает пропитаться за счет позднее затвердевающих частей отливки. Ускорение охлаждения массивных сечений отливок холодильниками, способствуя выравниванию скорости охлаждения, приводит к уменьшению внутренних напряжений, снижению коробления отливки и снижению опасности образования трещин (см. 2.1. §3).

На рисунке 3.2.11 представлена отливка «Гильза», а на рисунке 3.2.11б ее увеличенный фрагмент с дефектом усадочная раковина. Дефект возник в зоне бурта гильзы, т.е. в области термического узла. Незначительная величина усадочной раковины свидетельствует о возможности ликвидации её более интенсивным отверждением термического узла, т.е. использованием наружного холодильника. Кроме этого можно использовать другие способы:

- направленное отверждение бурта отливки;
- увеличение углеродного эквивалента;
- снижение температуры заливаемого металла.

§8. Усадка у стержня

При наличии усадочной раковины у стержня можно прибегнуть к использованию стержня из захлаживающей смеси.

Состав смеси (объемная доля в %, жидкие составляющие сверх 100%): песок кварцевый — 25; глина — 5; дробь колотая — 60; асбестовая крошка — 10, жидкое стекло — 6 (возможно использование другого связующего); едкий натрий — 2 (при наличии жидкого стекла); раствор битума — 2. Прочность по сырому — 0,2–0,3 кгс/см², по сухому — 7–8 кгс/см². Воз-



Рис. 3.2.10. Отливка «Колесо рабочее» с закрытой усадочной раковинной

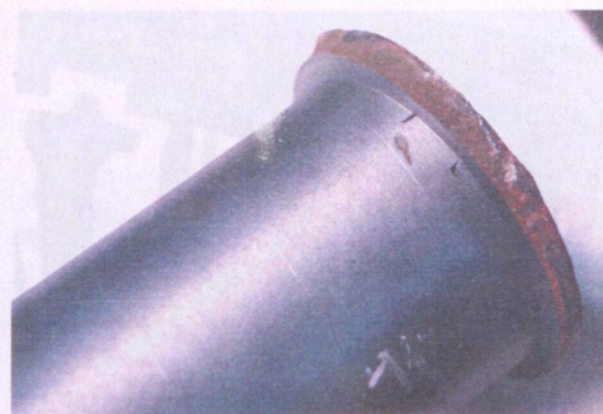


Рис. 3.2.11а. Отливка «Гильза» с закрытой усадочной раковинной

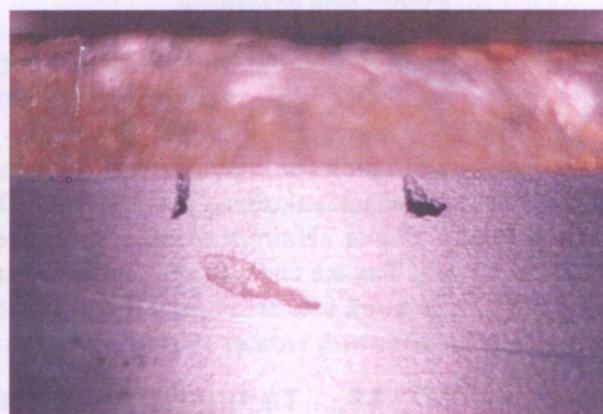


Рис. 3.2.11б. Фрагмент отливки «Гильза» (увеличено)

можно использование смесей на основе хромомagneзита, магнезита, хромита или другой захлаживающей смеси.

Для снижения возможности образования усадочных раковин рекомендуется:

- отказаться от использования стержня, служащего каналом пропускa газов или воздуха (давление атмосферы) к образующейся усадочной раковине;
- проработать возможность установки подпитывающей прибыли;
- использовать сплошной или полый металлический стержень;
- использовать чугун с содержанием фосфора не выше 0,05%;
- повысить эвтектичность чугуна до 4–4,2%;
- выполнить хорошую вентиляцию стержня.

Для ликвидации рассматриваемого дефекта у очень сложных, ответственных отливок типа блока цилиндров, головок блока, корпусов гидрораспределителей и др. необходимо более внимательно изучить конструкцию отливки, расположение стержней, равенность конструкции, особенно в зоне возникновения усадки и т.д. Только после этого следует прорабатывать варианты ликвидации усадки.

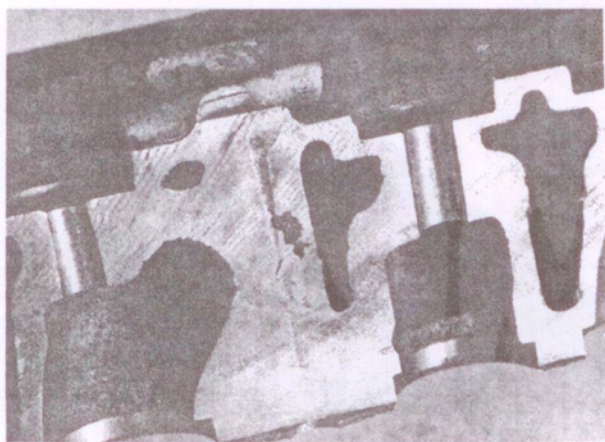


Рис. 3.2.12а. Отливка «Головка блока цилиндров» с усадочной раковиной

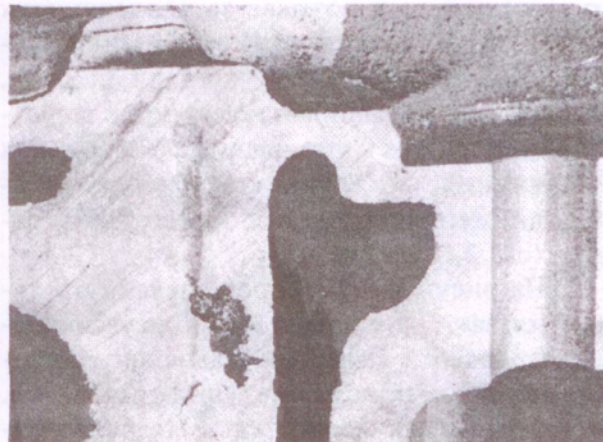


Рис. 3.2.12б. Фрагмент отливки (увеличено)

Расположение усадочной раковины видно на рисунке 3.2.12а в зоне сверления отверстия, на рисунке 3.2.12б — увеличенная часть фрагмента с дефектом. Видно, что усадочная раковина сместилась в сторону тонкого стержня ленточной водяной рубашки. Возможно, это вызвано меньшей теплоаккумуляцией ленточного стержня по отношению к более крупному стержню всасывающего коллектора. Возможное решение данного вопроса изложено в §2 этой главы «Направленное затвердевание отливки», где рассматриваются некоторые отливки. Так же следует обратить внимание на то, что повышение теплоаккумуляции материала стержней всасывающих и выхлопных отверстий или установка холодильника под усадочной раковиной может решить возникшую проблему.

§9. Толщина корки затвердевшего металла

Быстрое формирование корки затвердевшего металла в форме в большинстве случаев оказывает влияние на снижение дефектов усадочного происхождения и др. В тоже время медленное образование корки металла способствует увеличению дефектов усадочного происхождения. Поэтому необходимо ознакомиться с условиями формирования корки металла при его движении в форме (см. 1.7. §12).

§10. Заполняемость форм металлом

Заполняемость формы является важным моментом при ликвидации ряда дефектов отливки. Заполняемость повышается при увеличении сечения стояка, литникового хода и уменьшения их длины, так как это позволяет сохранить более высокую температуру металла при его поступлении в форму. Увеличение скорости заполнения (без разрушения формы) увеличивает заполняемость (см. 3.1. §12).

§11. Расположение усадочной раковины

При получении качественного стального литья полезней иметь концентрированную объемную усадочную раковину в виде раковины большого объема, чем разбросанную по всему телу отливки усадочную раковину и пористость. Концентрированную усадочную раковину всегда можно вывести в прибыль, обеспечив направленное затвердевание в форме. При этом отливка будет более плотной и прочной, чем при рассеянной по всему телу рыхлоте и пористости. Поэтому, чем больше усадочная раковина, тем меньше объем пористости, и наоборот (см. 3.1. §13).

§12. Разное, или Советы бывалого

Заливка холодным металлом даёт усадочную раковину меньших размеров, а усадочную пористость большую. Горячий металл даёт резко увеличенную усадочную раковину в прибыли, но меньшую пористость в подприбыльной части (см. 3.1. §14).

Глава 3.3. Усадочная пористость

Описание дефекта

Пористость, рыхлота, мелкие усадочные раковины серого цвета встречаются в частях отливки, отверждающихся в последнюю очередь (массивные участки, стыки стенок, выступающие углы, стержни, соединения литников и прибыли). Они часто сопровождают усадочные раковины и являются их продолжением.

Металл с этим дефектом встречается в сплавах с большим интервалом кристаллизации, имеет губчатый вид, часто дендритную структуру и скопление мелких раковин. Дефект можно обнаружить одним из следующих способов:

- испытанием на герметичность;
- осмотром невооруженным глазом;
- осмотром через оптический прибор вскрытых участков с дефектами.

Формирование раковин

В сплавах, затвердевающих в интервале температур, растущие от поверхности отлив-



Рис. 3.3.1. Фрагмент отливки «Гильза» с усадочной пористостью