

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В.П. Можарин

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В двух книгах

КНИГА 2

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Научно-методическим советом
Юргинского технологического института (филиала)
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2011

УДК 621.746
ББК 304.327
М74

Можарин В.П.

М74 Литейное производство: учебное пособие в двух книгах. Книга 2 / В.П. Можарин; Юргинский технологический институт. – Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 468 с.

В пособии изложены основы технологии производства отливок в разовых формах из дисперсных материалов. Рассмотрены ручные и машинные методы изготовления форм и стержней и их сборка, используемые в процессе формовки оборудование, инструменты и приспособления, а также модельно-стержневая и опочная оснастка.

Пособие знакомит студентов со свойствами формовочных и стержневых материалов и смесей, со способами их приготовления и методами их контроля.

Описаны процессы заливки, выбивки и очистки отливок. Рассмотрены вопросы проектирования технологического процесса. Приведены сведения по дефектам отливок и мерам их предупреждения и исправления.

Предназначено для студентов машиностроительных вузов металлургических специальностей.

УДК 621.746
ББК 304.327

Рецензенты

Кандидат технических наук, доцент кафедры
электрометаллургии, стандартизации и сертификации СибГИУ
Р.А. Гизатулин

Кандидат технических наук
заведующий кафедрой МЧМ ЮТИ ТПУ
А.А. Сапрыкин

Главный специалист отдела главного металлурга
ООО «Юргинский машзавод»
Н.Ф. Седлецкий

© ГОУ ВПО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2011
© Можарин В.П., 2011

ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Литниковые системы служат, главным образом, для заливки расплавленного металла в литейную форму в заданное время. Для питания отливок в процессе затвердевания и вывода из них усадочных раковин служат прибыли. Наряду с основным назначением литниковой системы – заполнять литейную форму в заданное время можно назвать и другие требования, имеющие отношение к качеству отливок (например, размыв и разрушение формы, образование ужимин) и экономике (масса литниковой системы, площадь, занимаемая на модельной плите). Однако все изменения литниковой системы с учетом названных требований могут быть приняты во внимание, если рабочая полость формы заполнена и воспроизведена.

11.1. КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Наиболее распространенной литниковой системой для отливок из наиболее широко используемого литейного сплава – чугуна – является система, состоящая из четырех элементов: литниковой воронки (чаши) 1, стояка 2, шлакоуловителя 3 и питателя 4 (рис. 11.1).

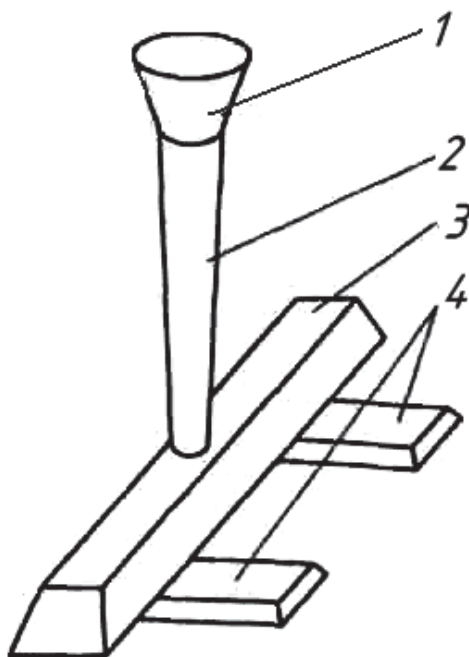


Рис. 11.1. Литниковая система, состоящая из четырех элементов:
1 – литниковая воронка; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели

Часто используются более сложные литниковые системы. Например, литниковая система для отливок из высокопрочного чугуна, модифицируемого в литейной форме, состоит, по крайней мере, из восьми следующих элементов: литниковая воронка (чаша), стояк, литниковый ход, реакционная камера, центробежный шлакоуловитель, питатель, прибыль, шейка (рис. 11.2).

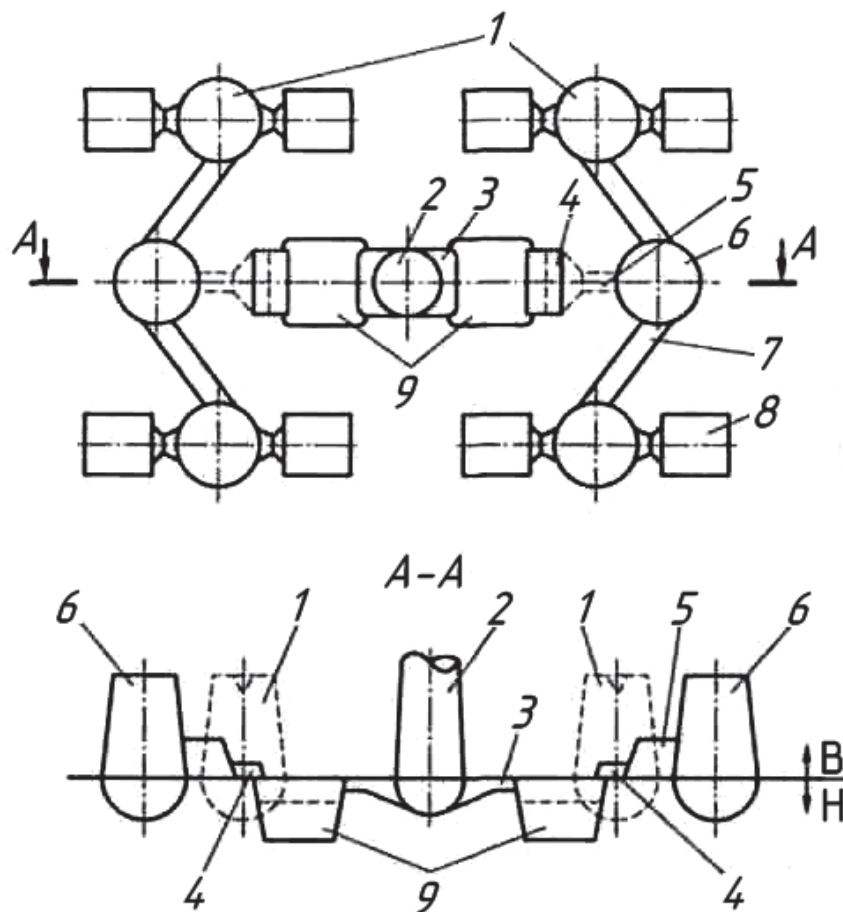


Рис. 11.2. Литниковая система для модифицирования отливок из высокопрочного чугуна в литейной форме: 1 – прибыли; 2 – стояк; 3 – литниковый ход; 4 – выход из реакционной камеры; 5 – вход в центробежный шлакоуловитель (ЦБШ); 6 – ЦБШ; 7 – выход из ЦБШ; 8 – отливка; 9 – реакционные камеры; В, Н – верх и низ формы

Необходимо отметить многообразие конструкций литниковых систем, которые можно классифицировать по ряду признаков. Одним из основных признаков является расположение узкого сечения. Если узким сечением являются питатели, то литниковая система называется сужающейся (заполненной) (рис. 11.3, а). При расположении узкого сечения в стояке литниковая система называется расширяющейся. Также расширяющейся

является и литниковая система, в которой узкий элемент в виде дросселя расположен внутри литниковой системы между стояком и питателем. Такие системы называют *дроссельными* (рис. 11.3, б).

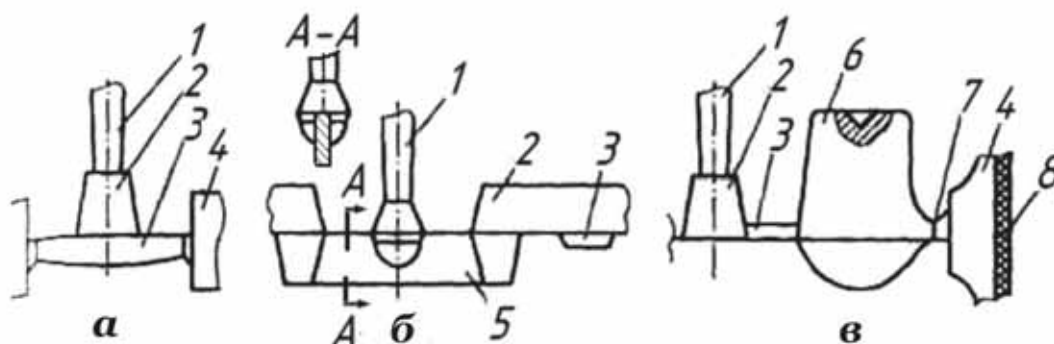


Рис. 11.3. Боковые литниковые системы: а — сужающаяся; б — дроссельного типа; в — с проточной боковой прибылью; 1 — стояк; 2 — шлакоуловитель; 3 — питатель; 4 — отливка; 5 — дроссель; 6 — прибыль; 7 — шейка; 8 — стержень

Сужающиеся литниковые системы используют для формирования отливок из чугуна и углеродистой стали, когда не возникает проблем образования неметаллических включений и плен в процессе заливки. При изготовлении отливок из легированных и высоколегированных сталей и цветных металлов, особенно на алюминиевой и магниевой основе, поток расплава в каналах литниковой системы должен быть не турбулентным, заполнение должно быть спокойным. В противном случае при заливке даже дегазированного и рафинированного сплава отливки будут поражены неметаллическими включениями и пленами.

В некоторых случаях литниковая система выполняет две функции: подводит металл в отливку и питает ее. В этих случаях литниковую систему называют «*литниково-питающей*». Ярким примером литниково-питающей системы является литниковая система при литье по выплавляемым моделям, когда стояк является прибылью для всех присоединенных к нему отливок. Элемент, соединяющий стояк с отливкой, называется «*шейкой*». Шейка должна затвердевать позже отливки.

Другим примером является литниковая система при подводе металла по разьему через боковую прибыль. При этом металл в прибыль подводится через питатель, а прибыль с отливкой соединяется шейкой. Следовательно, литниковые системы подразделяются на просто литниковые, обеспечивающие подвод металла в отливку, и литниково-питающие с функциями подвода металла и питания отливки (рис. 11.3, в).

Для мелких отливок питание из обычной литниковой системы хотя и характеризуется данными о компенсации до 30 % объема усадочных

раковин, но не является основанием, чтобы называть данную систему «литниково-питающей». Одним из основных классификационных признаков литниковых систем является способ подвода металла в отливку, по которому их подразделяют на боковые (рис. 11.3), нижние (сифонные) (рис. 11.4), верхние (рис. 11.5, а, б), дождевые (рис. 11.5, в), этажные (рис. 11.6), ярусные (металл подводится к одной отливке на разных уровнях – ярусах) (рис. 11.7, а) и комбинированные (рис. 11.7, б).

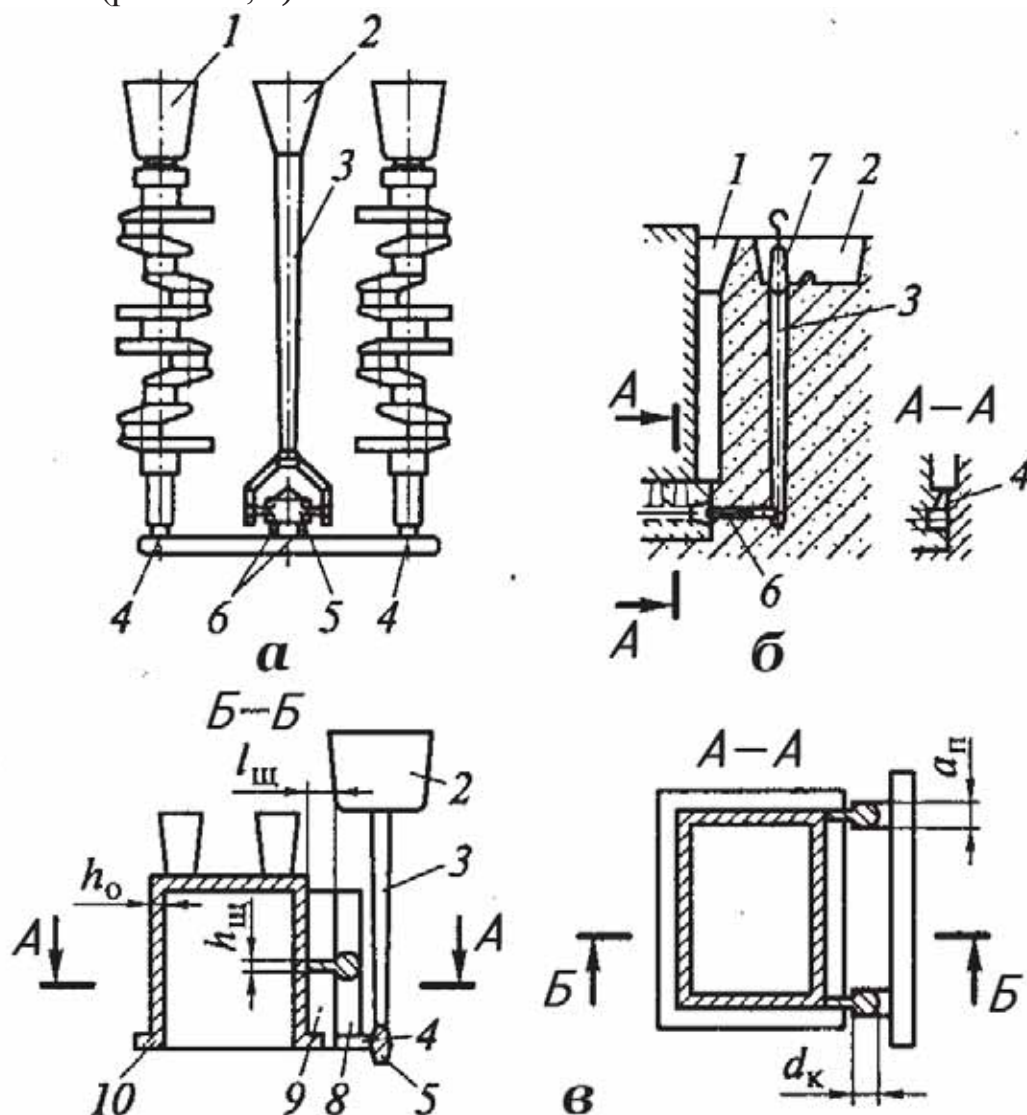


Рис. 11.4. Сифонная литниковая система: а – для безопочных форм с вертикальным разъемом для отливки коленчатого вала; б – с кольцевым подводом; в – вертикально-щелевая; 1 – прибыль; 2 – воронка или чаша; 3 – стояк; 4 – питатель; 5 – шлакоуловитель; 6 – дроссели; 7 – пробка; 8 – колодец; 9 – щелевой канал; 10 – отливка; h_o – толщина стенки отливки; $h_{ш}$ – толщина щели; $l_{ш}$ – ширина щели; d_k – диаметр колодца; $a_{п}$ – ширина питателя

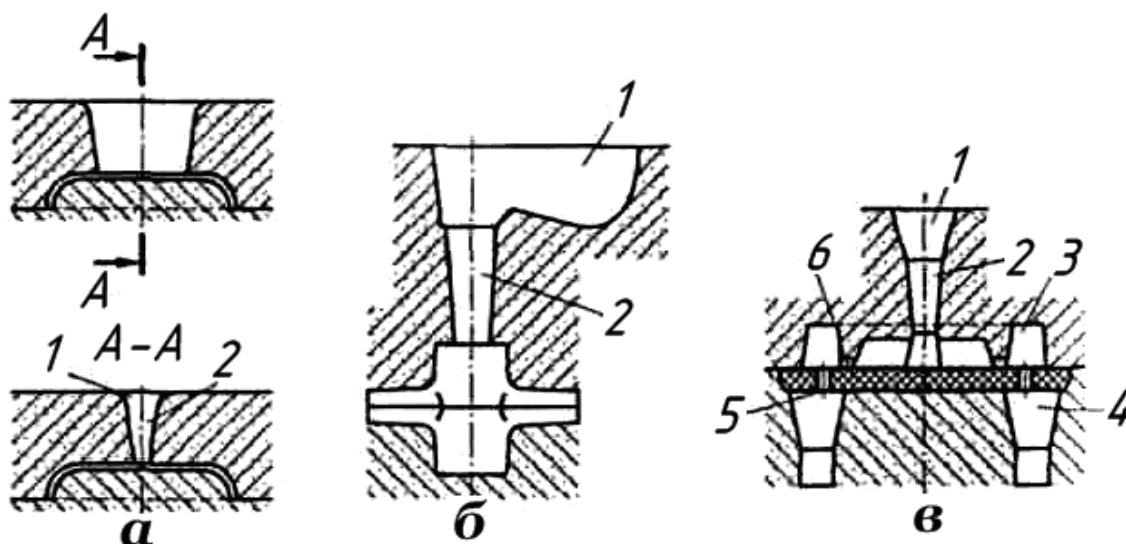


Рис. 11.5. Литниковые системы: а, б – верхние; в – дождевая; 1 – воронка или чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – прибыль; 5 – питатель; 6 – горизонтальный дроссель

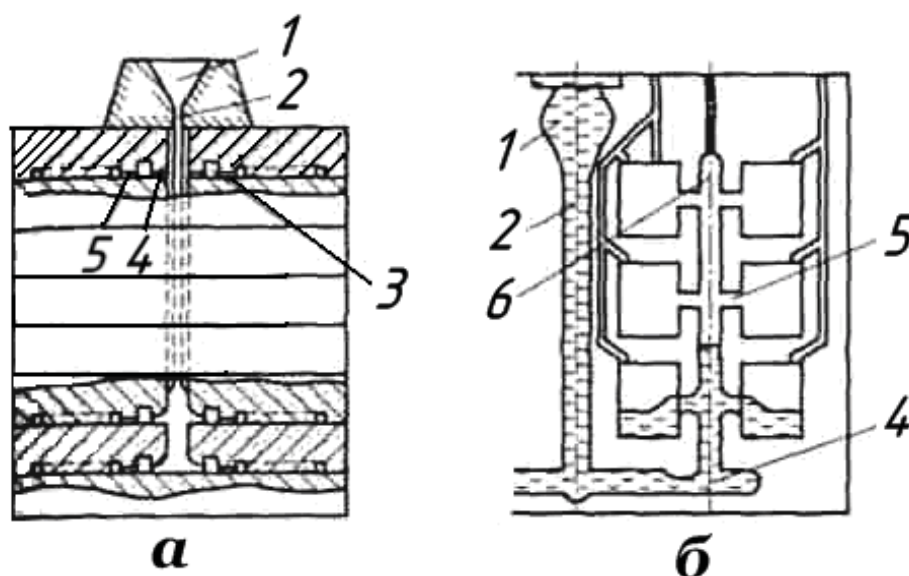


Рис. 11.6. Этажные литниковые системы: а – при стопочной формовке; б – в безопочной форме с вертикальным разъемом; 1 – воронка или чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – дроссель; 5 – питатель; 6 – обратный (распределительный) стояк

Боковая литниковая система является наиболее часто применяемой, при этом металл подводится к отливке по разьему. Она отличается от других способов подвода металла удобством при формовке (рис. 11.3, а–в).

Боковая литниковая система может быть также дроссельной с вертикальным дросселем (рис. 11.3, б) и с проточной боковой прибылью (рис. 11.3, в). Упомянутая литниковая система, используемая при моди-

фицировании высокопрочного чугуна в литейной форме, также является боковой (рис. 11.2).

Нижние и верхние литниковые системы можно считать частным случаем боковой как более общей. Если вся отливка расположена в нижней полуформе, то боковую литниковую систему можно считать вариантом верхней, а если вся отливка расположена в верхней полуформе, то боковую литниковую систему можно считать вариантом нижней (сифонной).

Сифонные литниковые системы, обеспечивающие особо спокойное заполнение отливки снизу, часто используют при заливке массивных отливок, а также безопочных форм с вертикальным разъемом (рис. 11.4, *а*) и для ответственных отливок (рис. 11.4, *б*).

К нижним литниковым системам можно отнести и вертикально-щелевую систему (рис. 11.4, *в*), применяемую для заливки отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. Основное требование к вертикально-щелевым системам сводится к тому, что стояк должен быть незаполненным. Часто в систему включается шлакоуловитель, называемый «шлаковым колодцем».

Верхние литниковые системы подводят металл непосредственно из стояка в отливку (рис. 11.5, *а*, *б*) или в проточную закрытую прибыль (рис. 11.5, *в*), в последнем случае литниковую систему называют также дождевой, ее чаще всего применяют при получении цилиндрических отливок в вертикальном положении.

Этажные литниковые системы используются при стопочной формовке мелких отливок (например, поршневых колец) (рис. 11.6, *а*), на автоматических линиях безопочной формовки с вертикальным разъемом (рис. 11.6, *б*). Площадь сечения питателей каждого этажа литниковой системы будет зависеть от высоты, на которой он находится: чем больше высота, тем меньше площадь сечения.

Ярусные литниковые системы применяют при изготовлении крупных отливок. Они обеспечивают последовательное заполнение литейных полостей снизу вверх (рис. 11.7, *а*).

Комбинированные литниковые системы (рис. 11.7, *б*) используют для высоких тонкостенных отливок, которые до некоторого уровня заливается сначала снизу через сифонную систему, а затем включается дождевая система. Если использовать для получения таких отливок только дождевую литниковую систему, то возникнет опасность разрушения форм из-за большого напора металла.

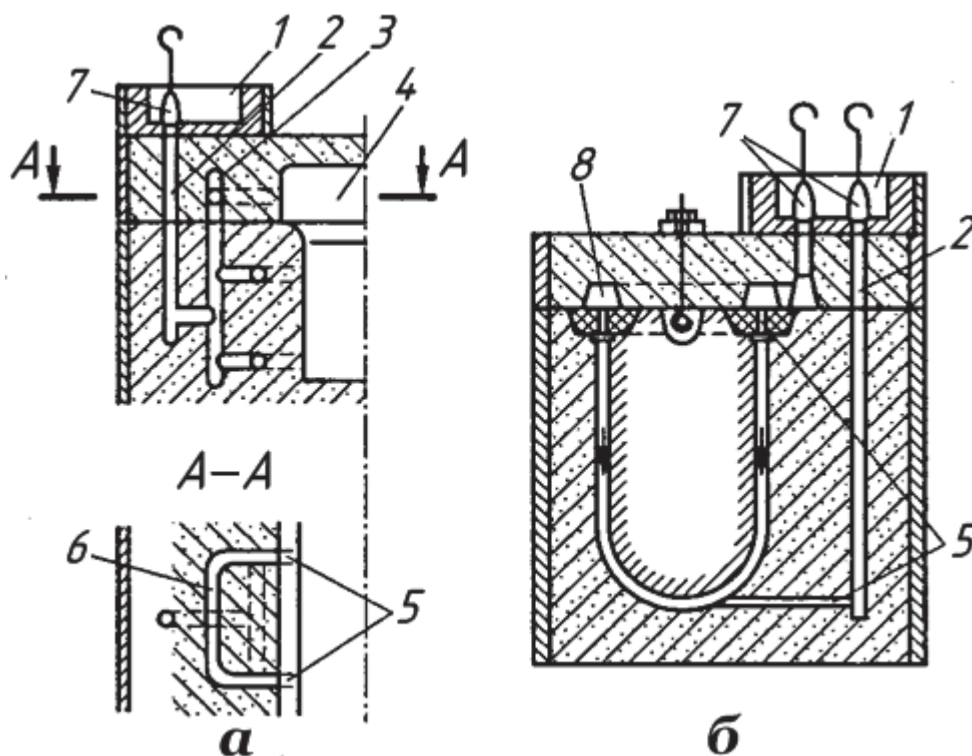


Рис. 11.7. Ярусная литниковая система: а — подвод металла на разных уровнях (ярусах) одной отливки; б — комбинированная литниковая система (сифонная и дождевая); 1 — чаша; 2 — стояк; 3 — обратный распределительный стояк; 4 — прибыль; 5 — питатели; 6 — литниковый ход; 7 — пробки; 8 — шлакоуловитель; стрелками показано направление металла при подключении дождевой системы

Рассмотрим подробнее назначение элементов литниковых систем. Основное назначение литниковых воронки и чаши — облегчить попадание в стояк струи металла. Применение литниковой воронки или литниковой чаши зависит от расхода металла в литниковой системе. При расходах, меньших или равных 5 кг/с для чугуна или 0,725 л/с для любого сплава, применяют литниковую воронку (рис. 11.8, а, б), а при больших расходах — литниковые чаши (рис. 11.8, в, г).

При машинной формовке литниковая воронка представляет собой усеченный конус (рис. 11.8, а), который формируется в верхней полуформе моделью, закрепленной на прессовой плите.

При ручной формовке вырезают гладилкой воронку, придавая ей форму чаши (рис. 11.8, б). В любом случае при заливке стремятся к тому, чтобы струя металла была направлена на стенку воронки или чаши, так как в противном случае струя металла будет ударяться о форму в конце стояка, и вызовет разбрызгивание и завихрения металла.

Литниковые чаши при расходах металла, меньших или равных 10 кг/с для чугуна или 1,5 л/с для всех сплавов, также формируются в верхней опоке (рис. 11.8, в). При больших расходах используют чаши-нарощалки, сделанные из стержневой смеси в специальных стержневых ящиках (рис. 11.8, г). Для соединения стояка и чаши-нарощалки применяется стакан, также сделанный из стержневой смеси или керамики.

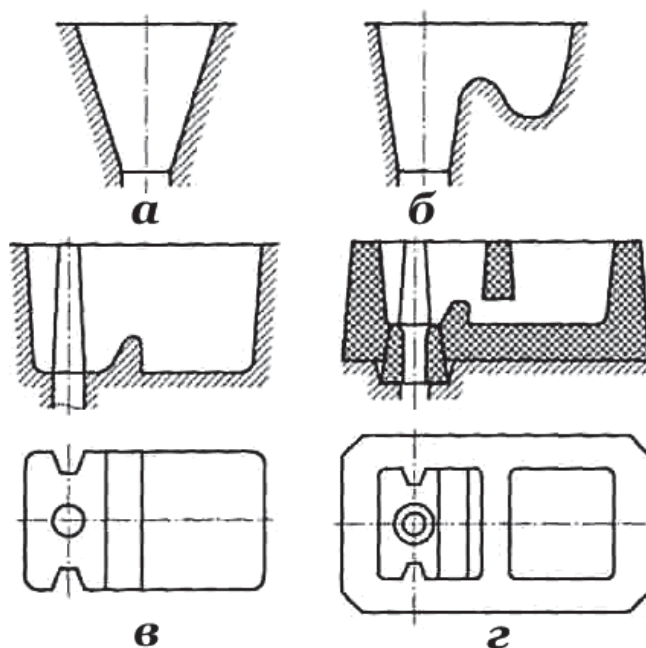


Рис. 11.8. Литниковые воронки и чаши: а – воронка; б – воронка ручного изготовления; в – отформованная чаша с порогом; г – чаша-нарощалка с порогом и перегородкой

В формуемых в верхних опоках чашах предусматривается порог, который устраняет зависимость расхода от высоты падающей струи (энергия струи воспринимается дном чаши), способствует всплыванию шлака и наряду с двумя вертикальными ребрами служит хорошим средством защиты против образования вихревых воронок.

В чашах-нарощалках, кроме названных двух элементов (порога и вертикальных ребер), делают перегородку, разделяющую чашу на две секции – приемную и шлакоулавливающую.

Для случаев, когда шлаковые частицы не должны попасть в отливку даже в первые моменты (например, при заливке индивидуально отливаемых поршневых колец), для чаш-нарощалок используют пробки, вынимаемые к концу заливки чаши и всплытия шлака (рис. 11.9, а), или на форму под чашу-нарощалку укладывают лист жести, который расплавляется к концу наполнения чаши и освобождает отверстие стояка (рис. 11.9, б).

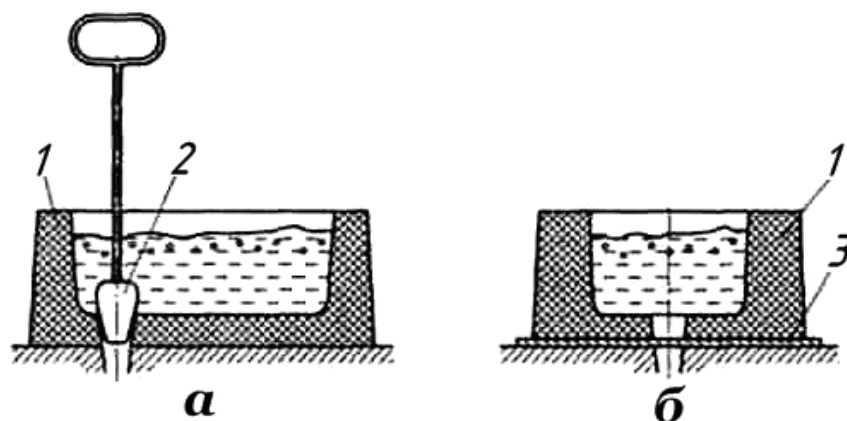


Рис. 11.9. Специальные литниковые чаши-нарощалки с пробкой (а) и листом жести (б): 1 – чаша-нарощалка; 2 – пробка; 3 – лист жести

Стояк представляет собой вертикальный (рис. 11.10, а, б), наклонный (рис. 11.10, в), зигзагообразный (рис. 11.10, г) канал или канал в виде «гусиной шейки» (рис. 11.10, д), по которому металл опускается от уровня воронки (чаши) до уровня, на котором он подводится к отливке. Стояк необходим во всех случаях, когда формы заполняются под действием силы тяжести.

Вертикальный цилиндрический стояк встречается наиболее часто. При ручной формовке он суживается книзу за счет литейного уклона. При машинной формовке он крепится к модельной плите и суживается кверху также за счет литейного уклона. Такие вертикальные цилиндрические стояки делаются из-за простоты изготовления. Правильнее же продольное сечение стояка выполнять по форме свободно падающей (например, из крана) струи (рис. 11.10, е). В этом случае при переходе металла из чаши (воронки) в стояк не возникает разрежение и отсутствует подсос воздуха.

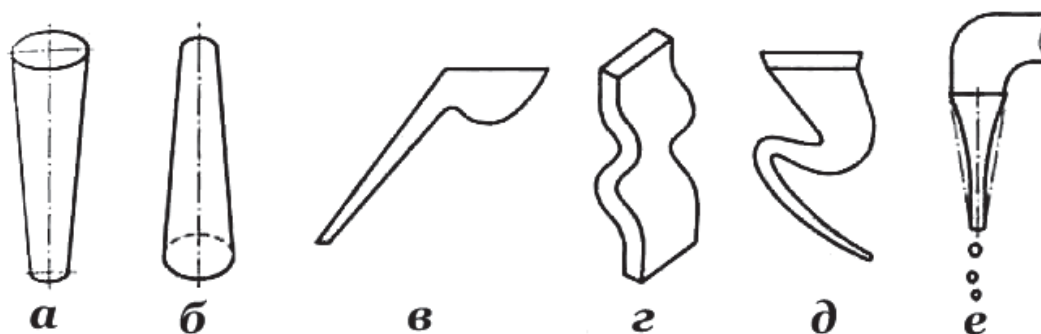


Рис. 11.10. Виды стояков: а – вертикальный с уклоном; б – вертикальный с обратным уклоном; в – наклонный; г – зигзагообразный; д – «гусиная шейка»; е – продольное сечение стояка в виде свободно падающей струи

Выше речь шла о заполненном стояке, который встречается наиболее часто. Реже применяются незаполненные стояки. Заливку формы при этом необходимо организовывать таким образом, чтобы металл стекал по стенке стояка. В этом случае металл меньше разбрызгивается и окисляется, чем при свободно падающей струе.

В незаполненных стояках происходит отшлаковывание металла, и истечение металла из них происходит с небольшими скоростями в соответствии с малым напором.

В заполненных стояках шлак не задерживается, так как скорость потока расплава в них в несколько раз больше, чем скорость всплывания шлаков. Для снижения скорости в некоторых случаях заполненные стояки выполняют наклонными или зигзагообразными (рис. 11.10, в, г).

Конструкция перехода из стояка в шлакоуловитель должна обеспечить смягчение удара расплава о дно стояка и плавное введение расплава в шлакоуловитель, в котором происходит улавливание шлака, если его плотность меньше, чем плотность собственно расплава. Шлаковая частица движется вместе с потоком и одновременно всплывает. Поэтому при конструировании шлакоуловителя и питателя должны выполняться два следующих требования:

1) питатель должен быть расположен на расстоянии, не меньшем, чем расстояние всплытия шлака до потолка канала и его приклеивания к потолку шлакоуловителя;

2) соотношение высоты питателя и шлакоуловителя должно отвечать неравенствам: $R_{\text{пит}}/R_{\text{шл}} \leq 1/5$ для чугуна и $R_{\text{пит}}/R_{\text{шл}} \leq 1/3,25$ для алюминиевых сплавов, в противном случае шлаковая частица может оказаться затянутой в питатель.

На практике обычно поперечное сечение шлакоуловителя одинаковое на всей его длине. В соответствии с постепенно уменьшающимся расходом из шлакоуловителя с несколько последовательно расположенными питателями поперечное сечение следовало бы выполнять постепенно уменьшающимся, однако при этом возрастет скорость потока и ухудшатся условия отделения шлака, включая его затягивание в питатель.

На практике питатели часто выполняют накладными (шлакоуловитель расположен в верхней полуформе, а питатель в нижней), хотя имеются рекомендации, по которым питатели и шлакоуловители должны быть расположены в одной полуформе, включая случай, когда часть шлакоуловителя (0,2...0,3 его высоты) находилась бы в нижней полуформе.

Улавливание шлака может осуществляться другими элементами, в частности, центробежным шлакоуловителем, подвод и отвод металла из которого осуществляется по касательной, металл при этом закручивается,

облегчая всплывание шлаковых частиц. Центробежный шлакоуловитель является обязательным элементом при модифицировании высокопрочного чугуна магниевой лигатурой в литейной форме и располагается сразу после реакционной камеры для улавливания нерастворившихся частиц модификатора и продуктов его взаимодействия, уносимых металлом при его протекании через реакционную камеру. Процесс модифицирования чугуна в литейной форме назван «In mold-процессом». Дробленую лигатуру засыпают в реакционную камеру, расположенную в нижней полужоппе. На автоматических формовочных линиях операция засыпки автоматизирована. По сравнению с модифицированием чугуна в ковше при In mold-процессе исключается отжиг отливок, улучшается их обрабатываемость за счет уменьшения твердости с HB 190...217 до HB 160... 180, увеличивается коэффициент усвоения магния из лигатуры с 50 до 80...90 %, за счет чего уменьшается расход лигатуры (от 1,4 до 0,6 % массы заливаемого металла), устраняется возврат ковшей с модифицированным металлом с линии формовки в печь из-за кратковременности действия модификатора, на 30...40 % уменьшается масса прибылей.

Однако точность отливок, изготовленных In mold-процессом, ниже на один-два класса из-за влияния и нестабильности новых факторов, появляющихся при модифицировании в форме.

Кроме того, модельно-стержневую оснастку, сделанную для ковшового модифицирования, необходимо подвергнуть переделке, так как линейная усадка отливок в случае модифицирования в форме на 0,20...0,25 % больше, чем при ковшовом модифицировании.

Для очистки металла от неметаллических включений малого размера, попавших в металл ранее и образующихся в процессе растворения модификатора, после реакционной камеры в последние годы устанавливают керамические фильтры (пенофильтры), на стенках сложных каналов которых включения адсорбируются и расход через них в процессе заливки уменьшается.

В сужающихся литниковых системах обеспечивается положительное давление металла на стенки каналов и не возникают явления разрежения и подсоса газов и воздуха. Однако металл при этом поступает в полость формы с большими скоростями (эффект брандспойта), что может привести к размыву формы или стержня. Для создания положительного давления и устранения эффекта брандспойта в литниковой системе устанавливают местные сопротивления (дроссели или пережимы), которые чаще всего располагают под стояком или при переходе от стояка к шлакоуловителю.

Дроссели и пережимы, кроме отмеченных выше положительных достоинств, обеспечивают более качественное отделение шлака за счет восходящего потока от данного сопротивления к шлакоуловителю. Местное сопротивление может быть выполнено в виде горизонтальной или вертикальной щели. Предпочтение следует отдать вертикальной щели (дросселю), так как неточности, возникающие из-за разъема формы (а дроссель располагают на разъеме), существенно меньше влияют на расход при вертикальном расположении щели. Названное утверждение легче понять, если допуск, например 1 мм, отнести к толщине щели 4 мм при горизонтальном расположении дросселя или к высоте пера 20 мм при вертикальном его расположении.

В качестве местного сопротивления могут быть использованы сетки-фильтры. Для алюминиевых и магниевых сплавов сетки представляют собой железные пластины с пробитыми в них отверстиями диаметром 2...3 мм, которые занимают 0,5...0,7 площади сетки. Для чугуна, бронзы и стали применяются сетки, сделанные из стержневой смеси или керамики. Толщина сеток 10... 15 мм, диаметр отверстий 6... 12 мм (рис. 11.11).

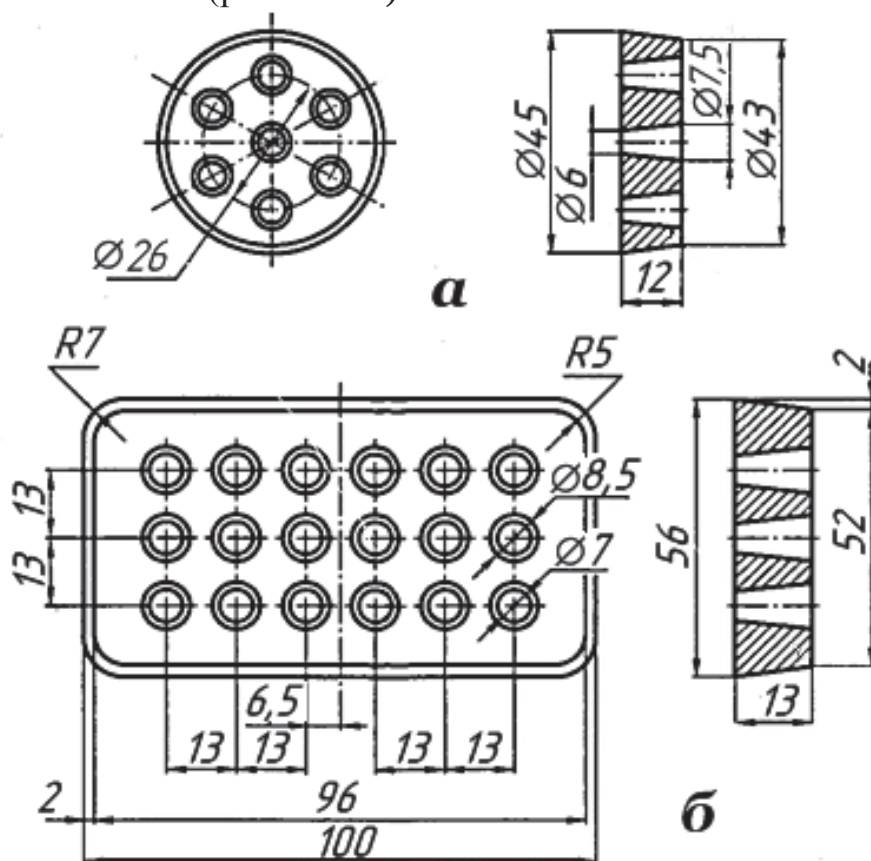


Рис. 11.11. Керамические сетки: а – круглая; б – прямоугольная

Чаще всего сетки ставят под стояком. Удержание шлака сетками с довольно значительными отверстиями основано на том, что после сетки возникает расширение потока, уменьшение скорости и происходит всплывание шлаковых частиц и задержание шлака за сеткой в шлакоуловителе.

Для отливок из чугуна и цветных сплавов используют также сетки из стеклоткани, впервые примененной в отечественной промышленности (так называемый «Фирам-процесс»). Стеклоткань может размещаться в разных местах литниковой системы (рис. 11.12).

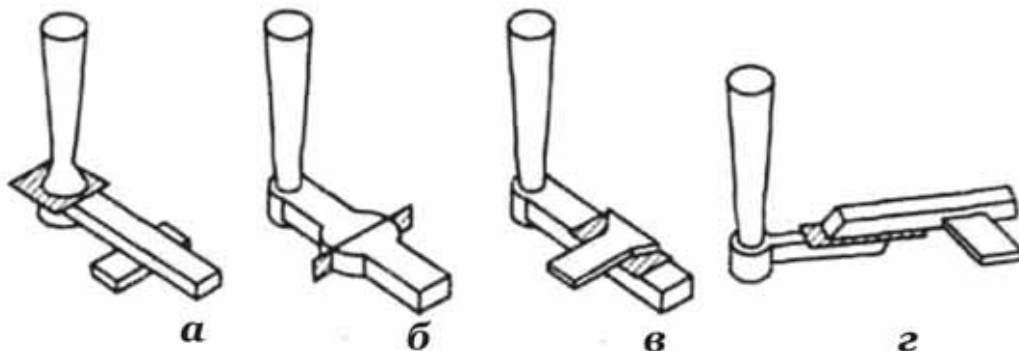


Рис. 11.12. Схемы установки сетки из стеклоткани: а — под стояком; б — на шлакоуловителе (вертикально); в — между шлакоуловителем и питателем; г — на шлакоуловителе (горизонтально)

11.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

В настоящее время имеются пакеты прикладных программ для ЭВМ (чаще рабочих станций) для решения трехмерной гидравлической и тепловой задач заполнения литейной формы и охлаждения расплава в литниковой системе. Однако они могут быть использованы только для уже спроектированной (рассчитанной) литниковой системы. Поэтому необходим инженерный метод расчета элементов литниковой системы.

К расчету элементов литниковой системы обычно приступают после разработки технологического процесса изготовления отливки и выбора конструкции литниковой системы. Схемы устройств литниковых систем приведены в разделе 11.2.1.

11.2.1. Схемы устройств литниковых систем для разных сплавов

11.2.1.1. Схемы литниковых устройств для чугунных отливок

Подвод металла по разъему формы. Литниковая система (рис. 11.13, Г) применяется для простых машиностроительных отливок при отсутствии места в опоке для выполнения шлакоуловителя. Подводящий канал (питатель) расположен в плоскости разъема формы,

литниковая система состоит: 1 – литниковая чаша; 2 – перемычка литниковой чаши; 3 – стояк; 4 – подводящий канал; 5 – пережим в подводящем канале.

Литниковая система с сеткой (рис. 11.13, II) применяется при заливке отливок, ответственных, проходящих механическую обработку для улавливания шлака, в условия машинной формовки или при большом числе мелких отливок в форме, когда велика общая площадь сечения питателей. Литниковая система состоит: 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – сетка; 4 – подводящий канал.

При заливке отливок большой массы для уменьшения размывания формы под стояком и в чаше устанавливаются стержни из высокопрочной стержневой смеси (рис. 11.13, III). Литниковая система состоит: 1 – чаша; 2 – укрепляющие стержни; 3 – опока чаши; 4 – стояк; 5 – подводящий канал.

С целью улучшения отделения шлака применяется шлакоуловитель, в котором отделяется шлак центрифугированием (рис. 11.13, IV). Литниковая система состоит: 1 – литниковая воронка; 2 – стояк; 3 – подводящий канал к шлакоуловителю; 4 и 5 – нижняя и верхняя части шлакоуловителя; 6 – подводящий канал к отливке; 7 – выпор.

Литниковые системы с нижним подводом металла в форму. При ручной формовке мелких отливок (шестерни с литым зубом и т. п.), когда подвод по разьему формы затруднен или требуется особо спокойное заполнение формы металлом, применяется литниковая система (рис. 11.13 V). Она состоит: 1 – рогообразный литниковый канал; 2 – пережим канала.

При ручной формовке средних и крупных толстостенных отливок для снижения размывания литниковых каналов их выполняют стержнями или сифонными шамотовыми трубками. В данном случае стержень установлен в нижней полуформе (рис. 11.13, VI, а). Литниковая система состоит: 1 – литниковая воронка; 2 – стояк; 3 – стержень.

При машинной формовке средних отливок колесного типа их иногда заливают через центральной стержень (рис. 11.13, VI, б).

При изготовлении отливок коленчатого вала из магниевого чугуна литники подводятся в прибыль с заливкой в наклонные формы с последующим поворотом (рис. 11.13 VII). Обозначения: а – положение формы при заливке коленчатого вала; б – положение формы при затвердевании коленчатого вала (из магниевого чугуна); 1 – стояк; 2 – подводящий канал по касательной в прибыль; 3 – прибыль.

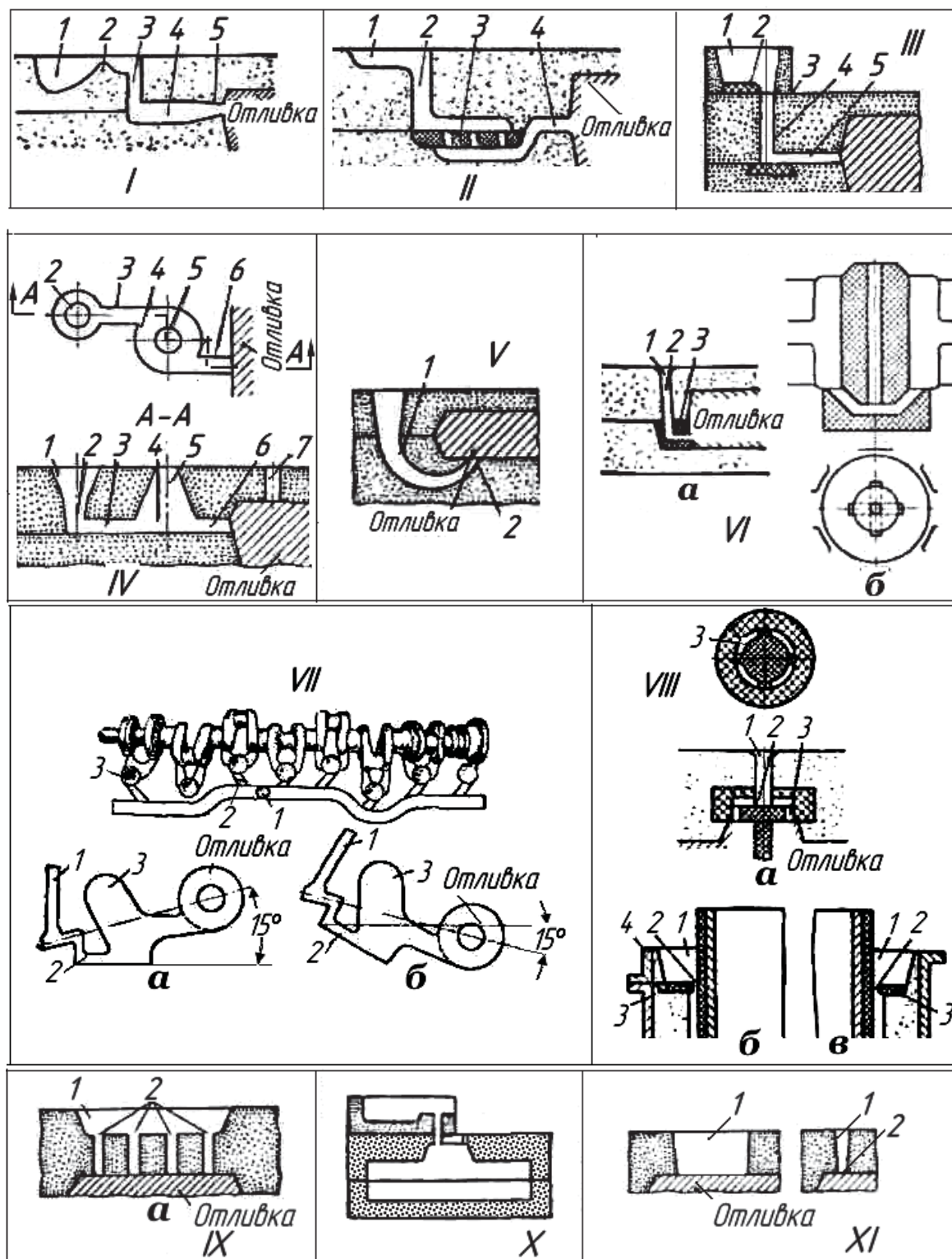


Рис. 11.13. Схемы литниковых устройств для чугунных отливок

Верхний подвод металла в форму. При изготовлении цилиндров, труб и втулок часто применяются щелевой формы дождевые питатели (рис. 11.13, VIII, а, б, в). Обозначения: а – 1 – воронка; 2 – стояк;

3 – стержень выполняющий щелевые питатели; б – 1 – чаша; 2 – щелевые прямоугольного сечения питатели; 3 – стержень; 4 – опока чаши; в – то же, что и б, но литниковая чаша в одной опоке с формой, а плоский стержень 3 для оформления щелевых питателей устанавливается в коническое гнездо на дне чаши.

На рис. 11.13, IX показана литниковая система, обеспечивающая относительно спокойную заливку сверху и отделение шлаковых включений (питатели исполняют роль сетки). Обозначения: 1 – чаша; 2 – питатель.

При заливке отливок типа шнеков, маховиков, шестерен, при использовании форм высокой прочности и когда литниковая система используется для питания массивного узла, применяют прямой верхний подвод через один подводящих канал (питатель) (рис. 11.13, X)

Для обеспечения быстрого заполнения тонкостенных отливок (сковородок, горшков, котлов и т. п.) и легкого отделения литника от отливки применяются при изготовлении клинообразные (или типа ножа) литники (рис. 11.13, X1). Обозначения: 1 – литник; 2 – место контакта литника с отливкой (суженное).

Комбинированные литниковые системы. При массовом и крупносерийном производстве в условиях машинной формовки при подводе металла в отливку, от которой требуется высокая степень чистоты обработанных поверхностей, применяются литниковые системы с «чайниковым» шлакоуловителем (рис. 11.14)

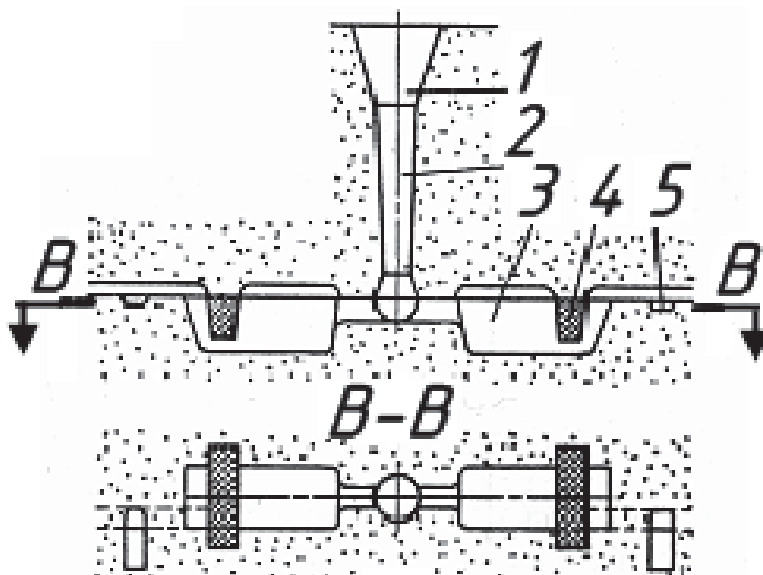


Рис. 11.14. Чайниковый шлакоуловитель: 1 – воронка; 2 – стояк;
3 – чайниковый шлакоуловитель; 4 – стержень; 5 – питатель

Для ответственных отливок из ковкого и высокопрочного чугуна, а также для отливок из серого чугуна с массивными узлами, от которых требуется высокая степень чистоты обработанных поверхностей, применяется литниковая система с «центробежным» шлакоуловителем (рис. 11.14, а) или с дроссельным каналом (рис. 11.14 б).

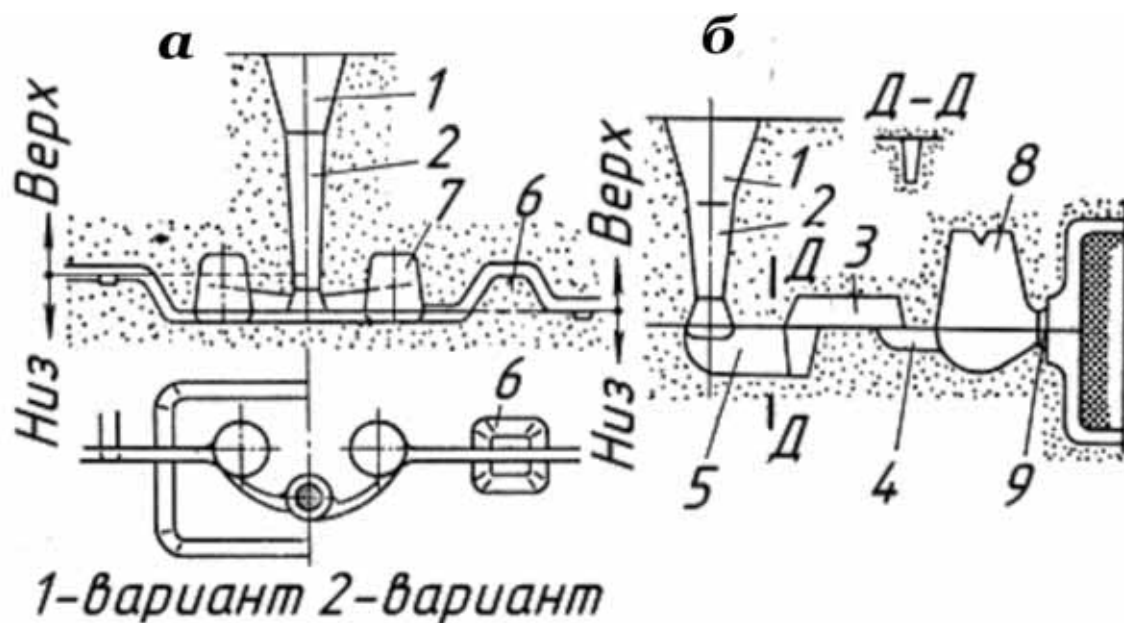


Рис. 11.15. Схемы комбинированных литниковых систем: 1 – воронка; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – литниковый ход; 5 – вертикальный одноходовой дроссель; 6 – болван; 7 – «центробежный» шлакоуловитель; 8 – питающая бобышка; 9 – шейка

11.2.1.2 Схемы литниковых устройств для стальных отливок

Литниковая система (рис. 11.16, I) для подвода металла по разьему формы, который применяется при изготовлении невысоких форм или когда основная часть отливки находится в верхней полуформе. На рисунке показан продольный разрез формы (а) и нижняя полуформа (б): 1 – опока; 2 – литниковый стержень; 3 – внешний холодильник; 4 – литниковый ход; 5 – питатель; 6 – отливка; 7 – металлоприемник.

Наиболее распространенным при изготовлении стальных отливок является подвод металла снизу (рис. 11.16, II), этим достигается спокойная заливка и создаются благоприятные условия для выноса засоров. Литниковая система состоит: 1 – литниковый ход; 2,3 – опоки; 4 – полость отливки.

При изготовлении крупных отливок применяются рассредоточенные литниковые ходы, что необходимо для улучшения заполнения формы и устранения пороков из-за затвердевшей корки металла.

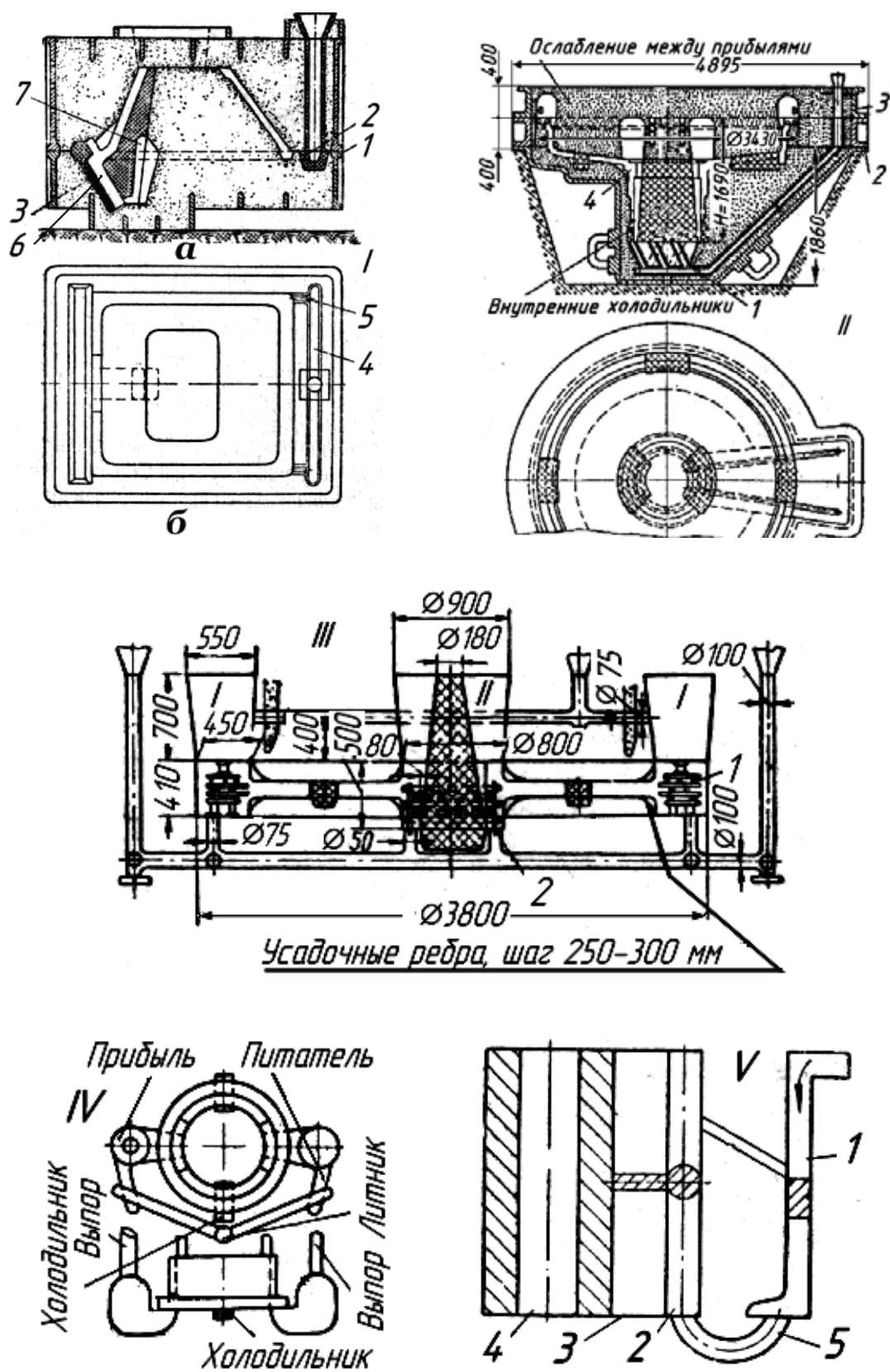


Рис. 11.16. Схемы литниковых устройств для стальных отливок

На рис. 11.16, III показана литниковая система, где основная часть металла вводится в форму снизу, а небольшая часть в прибыли для улучшения работы прибылей: I – прибыли на ободе; II – прибыль на ступице; 1 – внутренние холодильники в ободе; 2 – внутренние холодильники в ступице.

При изготовлении мелких и средних отливок литники подводятся в прибыли рис. 11.16, IV, чем улучшается их работа и уменьшается возможность поражения отливки засорами (прибыль выполняет еще роль шлакоуловителя).

Для достижения спокойной заливки (направленной заливки), что приводит к получению отливок, свободных от газовых раковин и засоров, применяются щелевые литники – питатели (рис. 11.16, V). Литниковая система состоит: 1 – стояк; 2 – распределитель; 3 – щелевой подводящий канал (питатель); 4 – отливка; 5 – промежуточный канал.

При производстве крупных стальных отливок применяют многоярусные литниковые системы (рис. 11.17).

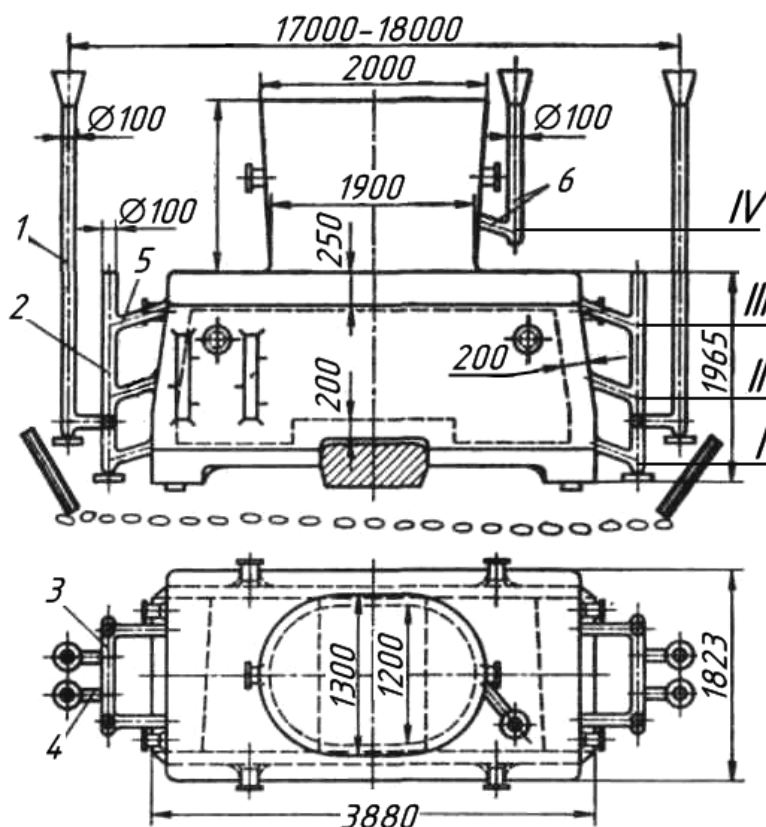


Рис. 11.17. Схема устройства четырехъярусной литниковой системы шабота массой 90 т: 1 – прямой стояк трехъярусной литниковой системы; 2 – обратный стояк; 3 – литниковый ход; 4 – промежуточный канал; 5 – питатель; 6 – прямой стояк и питатель; IV яруса литниковой систем

Эти системы состоят из нескольких одноярусных литниковых систем, расположенных на разных уровнях литейной формы. Каналы этих одноярусных систем могут быть соединены с общим стояком или же представлять собой несколько разобщенных систем литниковых каналов, каждая из которых питается жидким металлом через свой стояк.

При устройстве многоярусных литниковых систем рационально, помимо основного стояка, называемого в этих случаях прямым стояком 1, применять еще дополнительно обратный стояк 2 (рис. 11.17).

Обратный стояк представляет собой соединенный с прямым стояком вертикальный распределительный канал, через который жидкий металл поступает в верхние ярусы системы снизу вверх. В данном случае обратный стояк объединяет питатели трех ярусов литниковой системы. Последний, IV, ярус литниковой системы имеет отдельный прямой стояк 6.

Литниковые системы выполняются в литейной форме по моделям или с применением огнеупорных шамотных изделий (литниковых воронок, трубок и звездочек), предусмотренных ГОСТ 11586.

11.2.1.3. Схемы литниковых устройств для отливок из цветных сплавов

Литниковые системы для отливок из цветных сплавов так же, как для чугуновых и стальных отливок, в зависимости от способа подвода металла в полость формы подразделяют на 5 основных групп: верхние (дождевые), боковые, нижние (сифонные), комбинированные, вертикально-щелевые.

При выборе литниковой системы необходимо учитывать свойства сплава, вес и конфигурацию отливки, свойства формовочных материалов, условия заливки и т. д.

Правильно выбранная литниковая система должна обеспечить:

- спокойное, безударное поступление металла в полость формы;
- хорошее заполнение металлом всей полости формы;
- заданную направленность затвердевания металла в форме;
- невозможность проникновения в полость формы различных включений (шлака, формовочной смеси);
- наименьший расход металла на литники

Отливки на медной основе. При изготовлении отливок из меди применяется нижний подвод металла (рис. 11.18, I, а) и, в крайнем случае, ступенчатый (рис. 11.18, I, б). Обозначения: а – собранная форма холодильника горячего дутья для доменных печей с нижним подводом металла; б – ступенчатая литниковая система для отливки шибера горячего дутья для доменных печей; 1 – опока; 2 – центральный стержень; 3 – литой каркас; 4 – кольцевой стержень; 5 – трубки кольцевого стержня; 6 – кольца каркаса; 7 – литниковый стояк; 8 – медные жеребейки; 9 – тангенциальный питатель; 10 – литниковая чаша; 11 – пригрузочное кольцо; 12 – стяжки; 13 – деревянные клинья; 14 – груз.

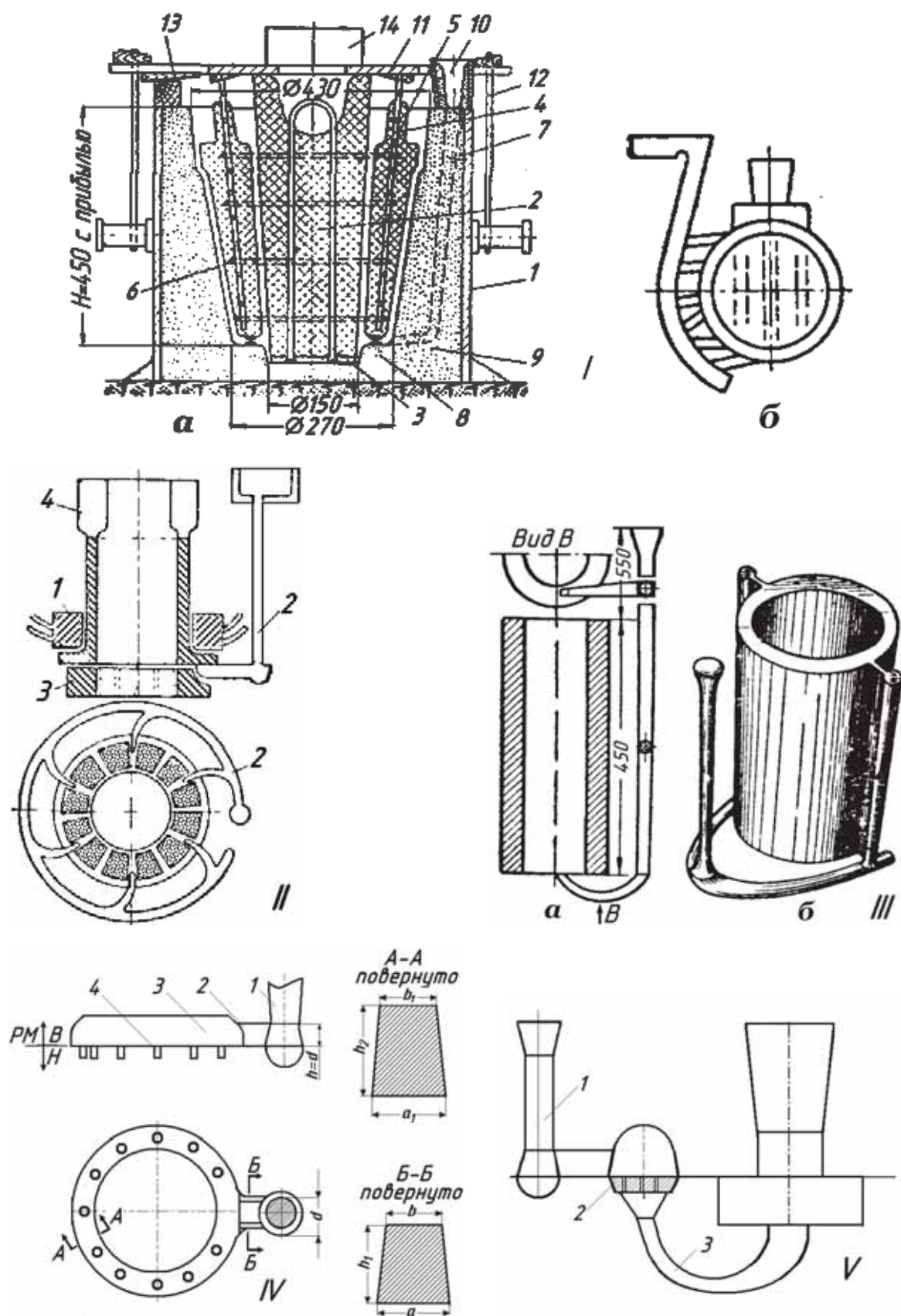


Рис. 11.18 Схемы литниковых устройств для отливок на медной основе

Подвод металла только снизу (рис. 11.18, II) применяется при изготовлении отливок из алюминиевой и других бронз, при заливке которых образуется пена (плены из окислов металлов). Обозначения: 1 – холодильник; 2 – литниковая система; 3 – холодильники; 4 – прибыль.

Отливки в виде плит, дисков болванок, пластин, ободов колес из алюминиевых и свинцовистых бронз отливаются методом поворота формы. Литник по касательной подводится в основание прибыли.

На рис. 11.18, III показаны литниковые системы с нижним подводом металла для заливки крупных втулок: а – из фосфористой бронзы; б – из оловянистой бронзы, для которой целесообразно применять щелевой подводящий канал (питатель).

На рис. 11.18, IV показана дождевая литниковая система для отливок из оловянистых бронз весом более 10 кг преимущественно цилиндрической формы с равномерной толщиной стенок, без термических узлов (втулки, венцы, шестерни и т. п.). Обозначения: 1 – стояк; 2 – соединительный канал; 3 – кольцевой шлакоуловитель; 4 – питатель.

На рис. 11.18, V показана литниковая система с расширяющимся рожковым питателем и фильтрующей сеткой для отливок различного веса из алюминиевых бронз разных марок и латуней (винты, шестерни, отливки колесного типа, цилиндры и т. п.). Обозначения: 1 – стояк; 2 – фильтрующая сетка; 3 – расширяющийся рожковый питатель.

При заливке мелких втулок из оловянистых бронз при массовом производстве применяется литниковая система, показанная на рис. 11.19, I, с массивным распределительным (горизонтальным) каналом для обеспечения питания отливок в период затвердевания.

При изготовлении фасонных отливок из кремнистой бронзы и марганцовистой латуни металл подводится снизу, желательно в нижнюю прибыль и применением литниковых фильтрующих сеток (рис. 11.19, II). Обозначения: а и б – два варианта технологии для одной и той же отливки.

Для заливки крупных отливок из безоловянистых бронз и латуней (гребные винты и лопасти, крупные втулки, цилиндры и т. п.) применяется литниковая система (рис. 11.19, III) с применением фильтрующей сетки, с подводом металла снизу через питатели карандашного типа. Питатели карандашного типа можно заменять щелевыми питателями или одним расширяющим питателем. Обозначения: 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – отстойник; 4 – фильтрующая сетка; 5 – шлаковик; 6 – питатели.

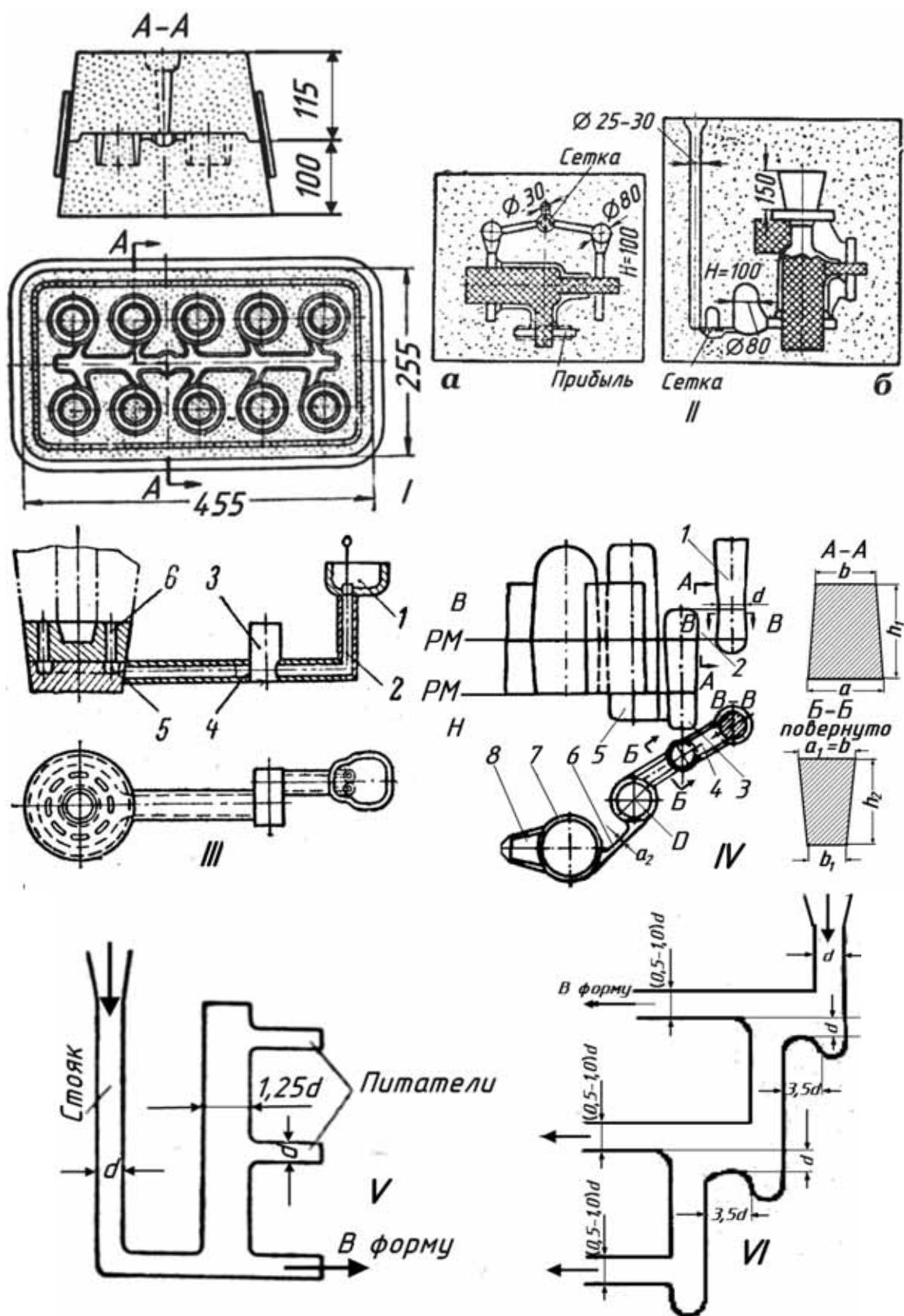


Рис. 11.19. Схемы литниковых устройств для отливок на медной основе

Отливки из безоловянистых бронз и латуней весом от 60 до 1000 кг с высотой падения металла из питателей в полость формы более 400 мм, с термическими узлами в нижней части отливок (в положении заливки), с развитыми вертикальными и горизонтальными стенками (корпусы насосов, цилиндров, клапанов, подшипников и т. п.) изготавливаются с применением ступенчатого стояка, завихряющего шлакоуловителя и щелевого питателя (рис. 11.19, IV). Обозначения: 1 – верхний стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – нижний стояк; 4 – соединительный канал; 5 – завихряющий шлакоуловитель; 6 – щелевой канал; 7 – прибыль; 8 – щелевой питатель

Для всех марок сплавов на медной основе, в зависимости от конструкции, массы и служебных свойств отливки, применяются этажные литниковые системы. На рис. 11.19, V показана этажная литниковая система с распределителем, а на рис. 11.19, VI этажная литниковая система со ступенчатым стояком. В указанных литниковых системах, через подводящие каналы которых металл начинает поступать в момент заполнения формы до уровня расположения этих каналов. Таким образом, заливка формы происходит достаточно спокойно и самый горячий металл в период заливки находится в верхних уровнях.

Отливки из алюминиевых и магниевых сплавов. Заливка металла из легких сплавов требует спокойного заполнения форм, и поэтому чаще всего применяется заполнение снизу (сифонными литниками). На рис. 11.20 показаны применяемые элементы литниковых систем для заливки алюминиевых и магниевых сплавов.

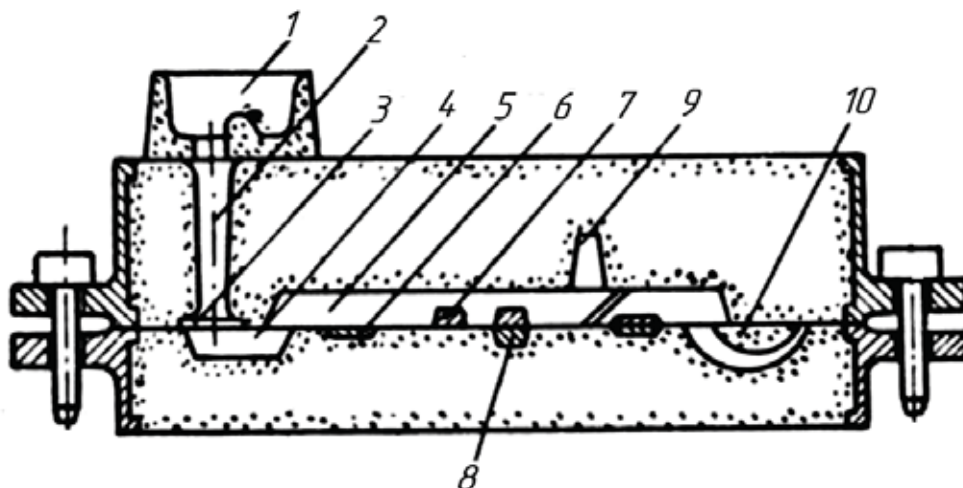


Рис. 11.20 Схема литниковой системы: 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – сетка; 4 – металлоприемник (шлакоуловитель); 5 – коллектор (главный канал); 6 – питатель в нижней опоке (щелевой или ленточный); 7 – толстый питатель в верхней опоке; 8 – питатель в обеих опоках; 9 – шлаковый выпор; 10 – рожковый питатель

Полная литниковая система для литья из алюминиевых и магниевых сплавов состоит из следующих элементов: литниковой чаши, стояка, литниковой сетки, металлоприемника, коллектора, шлаковыпоров, питателей (литников).

В зависимости от размеров, конфигурации детали и принятого метода отливки литниковая система может иметь лишь некоторые из указанных выше элементов.

Основными элементами литниковой системы являются стояк, коллектор, питатели.

Литниковая система для литья алюминиевых и магниевых сплавов должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать плавное заполнение всей формы металлом;
- задерживать неметаллические включения, находящиеся в металле;
- в процессе заполнения формы металлом не создавать новых шлаков и других загрязнений, которые могут появиться в процессе заполнения формы как результат взаимодействия сплава с кислородом воздуха или вследствие размыва формы;
- в процессе затвердевания отливки обеспечивать направленное развитие кристаллизации сплава (особо желательной является кристаллизация снизу вверх);
- расходовать на заполнение литниковой системы как можно меньше сплава.

Для фасонного литья алюминиевых и магниевых сплавов наибольшее распространение получили литниковая система сифонного типа и вертикально-щелевая литниковая система (с подводом металла вертикальной щелью в боковые стенки отливки).

В первом случае (рис. 11.20 и 11.21, а) литниковая система состоит из следующих элементов: литниковой чаши, стояка, металлоприемника, коллектора, питателей.

Вертикально-щелевая литниковая система (рис. 11.21, б), помимо перечисленных элементов, имеет еще вертикальный распределительный канал 3, роль питателей здесь выполняет вертикальная щель 4.

В зависимости от конструкции отливки применяются также верхние литниковые системы, когда металл подводится в верхнюю часть формы и комбинированные системы, в которых сочетается несколько литниковых систем. При этом сочетание и количество элементов литниковых систем меняется.

Литниковая чаша предназначена для приема металла из ковша и удержания шлака, попадающего сюда вместе с жидким металлом. В процессе заливки литниковая чаша создает практически постоянный напор и обеспечивает поступление металла в стояк без перерывов.

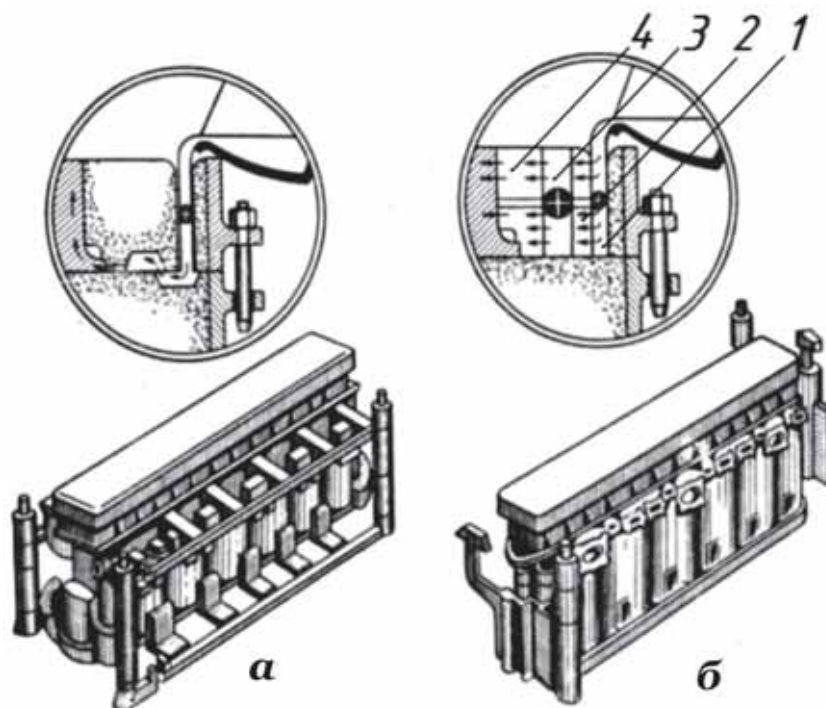


Рис. 11.21. Схема заливки форм блоков цилиндров двигателей жидкостного охлаждения: а – сифонный метод, при котором получается отливка блока цилиндра двигателя массой 200 кг; б – вертикально-целевым стояком, при котором та же отливка получается 120 кг в черновом весе; 1 – стояк; 2 – целевой промежуточный канал; 3 – вертикальный распределительный канал; 4 – целевой питатель

При фасонном литье из легких сплавов применяются чаши, дно которых имеет специальный порог (рис. 11.8, б и в). Порог необходим для устранения попадания в стояк отдельной порции металла по поступлению основной его массы. Суммарная емкость литниковых чаш обычно составляет 15–25 % емкости формы.

Наибольшее распространение в фасонном литье легких сплавов получили стояки с прямой осью.

Для плавного заполнения формы металлом применяют змеевидные стояки (рис. 11.10, г и д), но они значительно удлиняют путь движения металла из литниковой чаши в форму, способствуя потере тепла сплавом и понижению жидкотекучести. В большинстве случаев хорошей плавности потока металла можно добиться путем изменения диаметра прямого стояка и количества самих стояков. Наибольшее распространение получили стояки, имеющие диаметр минимального сечения 10–20 мм.

При необходимости увеличения скорости заполнения формы желательно увеличивать не сечение стояков, а их количество, так как при этом обеспечивается лучшая плавность заполнения.

Во всех случаях недопустимо пропускание через один стояк более 100

кг сплава. Модель стояка для удобства формовки обычно имеет уклоны 5° .

Металлоприемник обеспечивает плавное изменение направления движения металла и является в значительной мере шлакоуловителем.

Коллектор предназначен для подвода металла к различным частям отливки; кроме того, коллектор способствует задержанию шлаков в процессе движения металла.

Обычно коллектор имеет в вертикальном сечении форму равнобедренной трапеции с соотношением размеров сечений: 100 % нижнего основания, 80 % верхнего основания при 120 % высоты сечения коллектора. По виду в плане коллекторы бывают прямые, подковообразные и кольцевые (замкнутые). Рекомендуется коллекторы располагать таким образом, чтобы питатели были присоединены с нижней стороны отливки. Суммарная площадь коллекторов обычно в 2–3 раза больше суммарной площади стояков. Коллектор не следует относить от контура отливки более чем на 80 мм.

Питатели служат для ввода металла непосредственно в полость отливки. Толщина питателя по возможности не должна превышать 4–8 мм. Ширина питателя берется сообразно с конструкцией отливки и учетом удобства отделения литников от тела деталей. Суммарная площадь питателей в большинстве случаев в 4 раза больше площадей сечения стояков. В целях создания необходимых условий для направленной кристаллизации снизу вверх весьма часто питатели подводят к тонким частям отливки. Однако при литье сплавов типа твердого раствора нередко подвод сплава осуществляется в наиболее массивные места отливки, чтобы избежать излишнего разогрева формы и тем самым не допустить получения крупнокристаллического строения детали. В целях повышения плавности движения металла в форму применяют стальные и стеклотканевые сетки и питатели располагают под углом к стенке детали.

Если коллектор имеет две ветви, то желательно, чтобы на ветвях расположилось равное количество питателей. С точки зрения удобства обрезки и зачистки желательно подводить питатели к частям, выступающим за основные контуры отливки. Питатели следует располагать по возможности дальше от стояка. Недопустимо расположение питателя непосредственно против стояка.

При применении вертикально-целевой литниковой системы вертикальный распределительный канал выполняет функции коллектора, распределяя в форме металл по высоте. Диаметр колодца зависит от особенности отливки и колеблется от 25 до 55 мм. Вертикальный питатель делается толщиной 0,5–0,8 толщины стенки. Ширина питателя должна быть примерно в 4 раза больше его толщины. Очень важно, чтобы в местах сопряжений имелись галтели радиусом не менее 5 мм.

При нескольких колодцах, связанных одним горизонтальным общим коллектором, их следует устанавливать не на коллекторе, а на питателе. При переходе питателя в прибыль целесообразно вертикальную щель постепенно увеличивать по толщине до величины диаметра колодца. При оценке литниковых систем следует иметь в виду, что сифонная система, обеспечивая плавность заполнения формы металлом, не создает условий направления фронта кристаллизации снизу вверх, так как способствует разогреву нижних слоев отливки, тогда как вертикально-щелевая литниковая система обеспечивает направление кристаллизации снизу вверх.

К недостатку последней следует отнести технологические трудности ее выполнения и большую концентрацию тепла в местах подвода сплава.

Верхняя литниковая система способствует правильному развитию кристаллизации. Однако при этом получается свободное падение металла в форму, и поэтому она не может применяться для получения отливок высотой более 150 мм.

В ряде случаев (как, например, для высоких отливок) целесообразнее совмещать нижнюю и верхнюю системы, причем последняя вступает в действие по заполнении формы тела детали с целью подачи горячего металла в прибыльную часть.

11.2.2. Определение площади узкого сечения литниковой системы

Определение размеров элементов литниковой системы имеет большое технико-экономическое значение, так как правильно назначенные размеры литниковой системы позволяют уменьшить расход металла на литники, снизить брак отливок.

Задача определения точных размеров литниковой системы в каждом конкретном случае является трудновыполнимой вследствие сложности процессов, происходящих при заполнении формы расплавом. На практике используют упрощенные методы, основанные на следующих допущениях: расплав рассматривают как идеальную жидкость с постоянной вязкостью; охлаждение расплава и нагрев формы при ее заполнении не учитывают; движение расплава рассматривают как установившееся движение тяжелой жидкости по закрытым и открытым каналам формы, поэтому расчет должен тщательно проверяться практическими результатами.

В расчетах используют законы гидравлики, эмпирические зависимости и номограммы. Расчет обычно сводится к определению площади поперечного сечения узкого места $f_{уз}$ литниковой системы с последующим определением площадей поперечных сечений остальных элементов системы.

Основным является уравнение

$$f_{\text{уз}} = M / (\rho \tau \mu \sqrt{2qH_p}), \quad (11.1)$$

где M – масса всех отливок в форме, включая боковые прибыли; ρ – плотность жидкого металла; τ – продолжительность заполнения формы; μ – коэффициент расхода металла; $0 < \mu < 1$; q – ускорение свободного падения; H_p – расчетный статический напор.

Время заполнения формы рассчитывают по формулам, которые можно представить в следующей обобщенной форме:

$$\tau = A \delta^m M^n, \quad (11.2)$$

где δ – толщина стенки (преобладающая) отливки, мм; M – масса отливки, кг; A , m , n – коэффициенты, значения которых приведены в табл. 11.1

Таблица 11.1

Значения коэффициентов A , m , n для различных сплавов

Сплав	A	m	n
Чугун *	1,63—2,2	0	0,5
Чугун **	2	0,334	0,334
Сталь **	1,5	0,334	0,334
Алюминиевый **	1,7—3	0,334	0,334
Магниевый **	2,3—4,5	0,334	0,334

* По данным Г. Дитерта. ** По данным Г. М. Дубицкого.

Наиболее часто используют зависимость вида

$$\tau = A \sqrt[3]{\delta M}, \quad (11.3)$$

в которой $m = n = 0,334$.

Коэффициент расхода μ , характеризующий суммарные гидравлические потери, определять расчетным методом затруднительно, так как литниковые каналы являются относительно короткими и, кроме того, заранее необходимо знать площади сечений и размеры всех элементов литниковой системы. Поэтому его обычно определяют экспериментально. В большинстве случаев $\mu = 0,4 \div 0,7$ (табл. 11.2).

Таблица 11.2

Коэффициент расхода μ для различных форм и сплавов

Форма	Чугун	Сталь
Мелкая	0,6/0,5	0,5/0,42
Средняя	0,48/0,42	0,38/0,32
Крупная	0,41/0,35	0,3/0,25

Примечание. В числителе приведены данные для сухой формы, в знаменателе – для сырой.

Наибольшее влияние на коэффициент расхода оказывает сама литниковая система: ее сложность, характер местных сопротивлений, число поворотов и др. Влияние полости формы незначительно, и только для самых сложных и тонкостенных отливок можно вносить поправку 5–7 % в сторону снижения коэффициента μ .

В первом приближении можно пользоваться некоторыми практическими рекомендациями. По мере перехода от нижних к верхним литниковым системам коэффициент расхода увеличивается. Так, например, боковая (рис. 11.2, *а*) и нижняя (рис. 11.3, *а, б*) литниковые системы по сравнению с верхней (рис. 11.4, *а, б*) имеют меньшие значения μ соответственно на 0,1 и 0,2. При повышении температуры заливки на 50 °С к значению μ прибавляют 0,05. Если полость формы имеет слабую вентиляцию, то μ уменьшают на 0,05.

При заливке через литниковую чашу происходит полное гашение энергии струи металла, падающей из ковша. Расчетный статический напор в этом случае (рис. 11.22, *а*)

$$H_p = H_0 - p^2/(2c), \quad (11.4)$$

где H_0 – начальный напор или расстояние от горизонтальной оси питателей до верхнего уровня металла в чаше; p – расстояние от горизонтальной оси питателей до верха отливки; c – высота отливки.

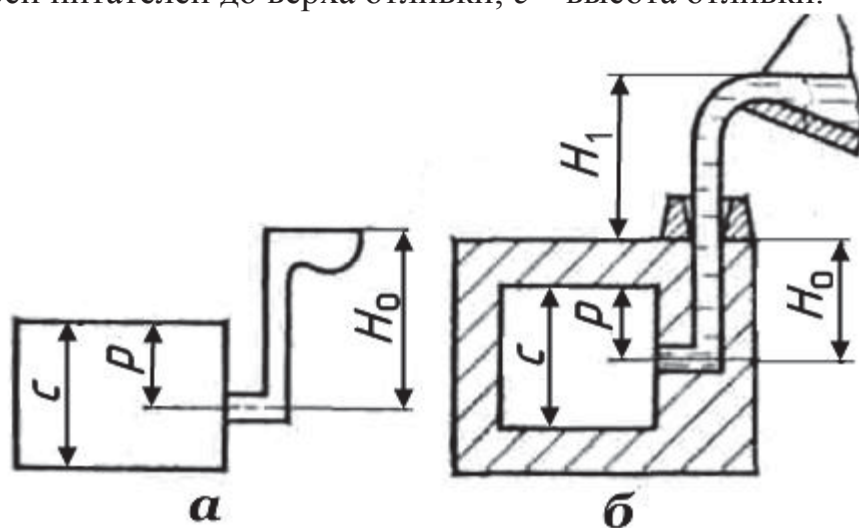


Рис. 11.22. К определению расчетного статического напора при заливке металла через литниковую чашу (*а*) и воронку (*б*)

Для литниковых систем с верхним подводом $p = 0$ и $H_p = H_0$, для систем с нижним подводом $p = c$ и $H_p = H_0 - c/2$. Если заливка ведется через литниковую воронку (рис. 11.22, *б*), то расчетный статический напор

$$H_p = H_0 - p^2/(2c) + H_1, \quad (11.5)$$

где H_0 – расстояние от оси питателей до верхней кромки верхней опоки; H_1 – расстояние от верхней кромки верхней опоки до уровня металла в поворотном ковше.

После определения площади сечения узкого места по формуле (11.1) определяют площади поперечных сечений остальных элементов системы. На практике наиболее часто используют следующие соотношения площадей поперечных сечений стояка, шлакоуловителя и питателей:

– для чугунов

$$f_{\text{ст}}:f_{\text{шл}}:\Sigma f_{\text{пит}} = (1:1,2:1,5), (1:1,5:1,2), (1:(1-2):1), (1,2:1,1:1); \quad (11.6)$$

– для сталей

$$f_{\text{ст}}:f_{\text{шл}}:\Sigma f_{\text{пит}} = (1,1:1,3:1,5), \quad (11.7)$$

а если применяют шамотный сифонный припас

$$f_{\text{ст}}:f_{\text{шл}}:\Sigma f_{\text{пит}} = [1:1:(1-2)]; \quad (11.8)$$

– для медных сплавов

$$f_{\text{ст}}:f_{\text{шл}}:\Sigma f_{\text{пит}} = [1:2:(2-4)]; \quad (11.9)$$

– для алюминиевых и магниевых сплавов

$$f_{\text{ст}}:f_{\text{шл}}:\Sigma f_{\text{пит}} = [1:(2-4):(2-6)]. \quad (11.10)$$

После расчета площадей сечений определяют размеры всех элементов литниковой системы. Для прямого круглого стояка определяют его диаметр. Наиболее часто используемые трапециевидный шлакоуловитель или литниковый ход имеют следующие соотношения размеров:

$$b_{\text{шл.в}} = 0,8b_{\text{шл.н}}, \quad h_{\text{шл}} = 1,4b_{\text{шл.н}},$$

где $b_{\text{шл.в}}$, $b_{\text{шл.н}}$ – соответственно верхнее и нижнее основания; $h_{\text{шл}}$ – высота шлакоуловителя (рис. 11.23).

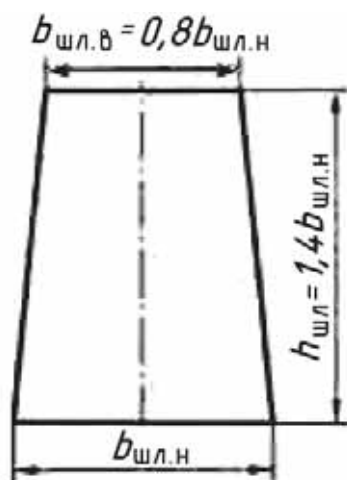


Рис. 11.23. Трапециевидное сечение линейного шлакоуловителя, литникового хода

Поперечные сечения питателей обычно имеют прямоугольную форму. Высота питателя $\delta_{\text{пит}}$ не должна превышать толщину отливки в месте подвода металла. Ширину питателя $b_{\text{пит}}$ определяют делением площади его поперечного сечения на высоту.

Размеры литниковых чаш и воронок выбирают по справочным материалам. Основные условия:

- площадь сечения пропускного отверстия чаши (воронки) должна быть не менее верхней площади стояка;
- чаша (воронка) должна выдерживать напор жидкого металла.

11.2.3. Определение размеров центробежного шлакоуловителя.

Площадь сечения центробежного шлакоуловителя $F_{\text{цб.ш}}$ см² определяется по эмпирическому уравнению, подтвержденному практическими результатами

$$F_{\text{цб.ш}} = 6F_{\text{вх.цб.ш}}, \quad (11.11)$$

где $F_{\text{вх.цб.ш}}$ – площадь сечения входа литниковой системы в центробежный шлакоуловитель, см².

Другие параметры центробежного шлакоуловителя определяются по следующим уравнениям:

$$V_{\text{цб.ш}} = (0,1 d_{\text{цб.ш}})^3; \quad (11.13)$$

$$d_{\text{цб.ш}} = 20\sqrt{F_{\text{цб.ш}}/\pi}; \quad (11.12)$$

$$m_{\text{цб.ш}} = 0,001V_{\text{цб.ш}} \rho_{\text{м.ж}}, \quad (11.14)$$

где $d_{\text{цб.ш}}$, $V_{\text{цб.ш}}$, $m_{\text{цб.ш}}$ – соответственно диаметр, мм, объем, см³, и масса, кг, центробежного шлакоуловителя.

Вышеуказанные зависимости получены для центробежного шлакоуловителя, формы и размеры которого приведены на рис. 11.23.

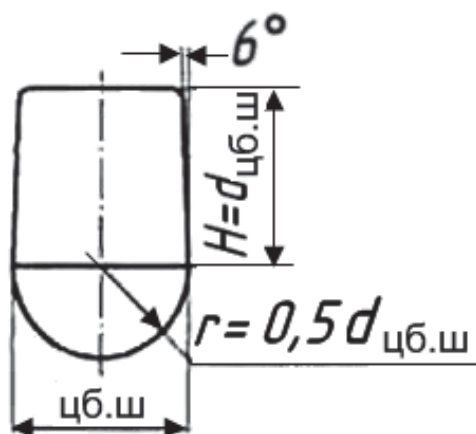


Рис. 11.23. Эскиз центробежного шлакоуловителя: $d_{\text{цб.ш}}$, H – соответственно диаметр и высота шлакоуловителя; r – радиус полусферы

11.2.4. Определение площади сечения, размеров и объема реакционных камер.

Сначала рассчитываются все элементы по приведенным выше уравнениям в соответствии с конструкцией литниковой системы. Далее определяются коэффициент расхода модификатора и металлоемкость формы. Коэффициент расхода модификатора $K_{\text{мдф}}$ часто принимается в интервале значений 0,06...0,10. При определении коэффициента расхода учитывают процентное содержание серы $S_{\text{исх}}$, исходное процентное содержание магния в модификаторе и остаточное процентное содержание $Mg_{\text{ост}}$ в отливке по уравнению

$$K_{\text{мдф}} = (0,76 S_{\text{исх}} + Mg_{\text{ост}}) / Mg_{\text{исх}}. \quad (11.15)$$

Металлоемкость формы находят как сумму

$$m_{\text{ф}} = \sum m_{\text{о}} + \sum m_{\text{пр}} + \sum m_{\text{цб.ш}} + m_{\text{ст}} + m_{\text{ч}} + \sum m_{\text{р.к}}, \quad (11.16)$$

в которой учтена масса всех элементов:

- масса отливок в форме $\sum m_{\text{о}}$,
- масса прибылей $\sum m_{\text{пр}}$,
- масса центробежных шлакоуловителей $\sum m_{\text{цб.ш}}$,
- масса стояка $m_{\text{ст}}$,
- масса чаши $m_{\text{ч}}$,
- масса реакционных камер $\sum m_{\text{р.к}}$.

Неизвестной является только масса реакционных камер, которую по опытным данным можно принять равной около 4 % металлоемкости формы без $\sum m_{\text{р.к}}$.

Из практики известно, что модифицирование чугуна происходит во всех элементах литниковой системы, поэтому масса модификатора определяется по следующему уравнению:

$$m_{\text{мдф}} = K_{\text{мдф}} m_{\text{ф}} \quad (11.17)$$

По насыпной массе модификатора $\rho_{\text{мдф}}$ определяют его объем $V_{\text{мдф}}$ и площадь сечения $F_{\text{р.к}}$ одной реакционной камеры по уравнениям:

$$V_{\text{мдф}} = m_{\text{мдф}} / \rho_{\text{мдф}}, \quad (11.18)$$

$$F_{\text{р.к}} = \frac{m_{\text{ф}}}{n \tau_{\text{зал.ф}} \psi}, \quad (11.19)$$

где n – число одинаковых реакционных камер; $\tau_{\text{зал.ф}}$ – время заливки формы, с; ψ – фактор растворения, кг/(с·см²).

Для модификатора ФСМг5 принимается $\psi = 0,0525$. При этом химический состав модификатора следующий, %: Mg 4,5...6,5; Si 45...55; РЗМ 0,2... 1; Al менее 0,2; Fe остальное. Размеры частиц дробленого модификатора 1...4 мм ($\rho_{\text{мдф}} = 2$ г/см³) или 0,5...4,0 мм ($\rho_{\text{мдф}} = 2,2$ г/см³).

В других случаях для других модификаторов фактор растворения определяется экспериментально. Продолжительность заливки определяется, как описано в подразделе 11.2.2

Уравнение определения площади сечения $F_{Р.К}$ справедливо при симметричном расположении одинаковых реакционных камер (при одинаковых отливках на модельной плите).

При неодинаковых отливках и разных реакционных камерах массу модификатора, найденную по уравнению, распределяют пропорционально массе металла, относящейся к каждой камере.

Высота, мм, слоя модификатора в реакционной камере определяется как частное от деления объема модификатора $V_{МДФ}$ на площадь реакционной камеры $F_{Р.К}$

$$h_{МДФ} = 10V_{МДФ} / F_{Р.К}. \quad (11.20)$$

Для определения массы металла в реакционной камере необходимо кроме площади $F_{Р.К}$ знать ее высоту $h_{Р.К}$, мм,

$$h_{Р.К} = h_{МДФ} + h_{ВХ.Р.К} + h_{ТЕХ}, \quad (11.21)$$

где $h_{МДФ}$ – высота слоя модификатора; $h_{ВХ.Р.К}$ – высота входа в i -ю реакционную камеру; $h_{ТЕХ}$ – высота технологическая, равная 10...20 мм.

Величину $h_{ВХ.Р.К}$ следует определять по площади сечения входа в реакционную камеру, которая вычисляется по соотношению

$$h_{ВХ.Р.К} = 100 F_{ВХ.Р.К} / b_{ВХ.Р.К}, \quad (11.22)$$

где $b_{ВХ.Р.К} = 8\sqrt{F_{Р.К}}$ – ширина входа в реакционную камеру, мм. Площади сечения входа в реакционную камеру $F_{ВХ.Р.К} = (1,2-1,4) f_{ШЛ}$. Площадь сечения шлаковика $f_{ШЛ}$ определяется по формуле (11.6).

Объем реакционной камеры, см³,

$$V_{Р.К} = 0,1F_{Р.К} \cdot h_{Р.К}. \quad (11.23)$$

Масса металла в объеме реакционной камеры (после заливки)

$$m_{Р.К} = 0,001V_{Р.К} \rho_{М.Ж}. \quad (11.24)$$

Размеры сечения выхода из реакционной камеры следует определять по соотношениям:

длина выхода

$$l_{ВЫХ.Р.К} = 0,8\sqrt{F_{Р.К}}; \quad (11.25)$$

ширина выхода

$$b_{ВЫХ.Р.К} = 100F_{ВЫХ} / l_{ВЫХ.Р.К}. \quad (11.26)$$

Площадь сечения выхода из реакционной камеры определяется по соотношению

$$F_{ВЫХ.Р.К} = (1,15-1,3) f_{ШЛ}. \quad (11.27)$$

Эскиз литниковой системы с двумя одинаковыми реакционными камерами приведен на рис. 11.2

11.2.5. Определение размеров фильтровальной сетки.

При использовании фильтровальной сетки площадь ее сечения рассчитывают по соотношению

$$F_{p.c} = 1,1F_{пр.сеч}, \quad (11.28)$$

где $F_{p.c}$ – расчетная площадь живого сечения сетки, $см^2$; $F_{пр.сеч}$ – площадь сечения предыдущего элемента сечения литниковой системы (по ходу металла), $см^2$.

Как правило, сетка устанавливается под стояк или под центробежный шлакоуловитель (особенно при модифицировании чугуна в форме). По расчетной площади живого сечения подбирают в таблице 11.3. ближайшую большую по площади сечения сетку из условия

$$F_{p.c} < F_{т.с},$$

где $F_{т.с}$ ~ табличное значение площади, $см^2$, живого сечения сетки.

Таблица 11.3.

Размеры нормализованных керамических сеток (фильтров)

Сетка (фильтр)	$F_{т.с}, см^2$	Минимальный диаметр отверстия мм	Число отверстий	Максимальный диаметр сетки $D_{сетки}^{max}, мм$
№ 1	8,21	6,6	24	80,0
№ 2	8,13	3,0	115	90,5
№ 3	3,17	3,0	45	69,5
№4	11,78	5,0	60	90,5
№ 5	4,32	4,6	26	69,5
№6	4,24	6,0	15	50,0

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛОТНЫХ ОТЛИВОК

Отличительным признаком отливок при их сравнении с заготовками из деформируемых сплавов является наличие в отливках усадочной, газовой и газоусадочной пористости. Об этом, по сути, и свидетельствует буква «Л» (литой) в конце марок литейных сплавов. Пористость может значительно снижать прочность сплавов – до 30 % и более. Поэтому получение плотных отливок является одной из важных задач технолога-литейщика.

Следует отметить, что заготовки из деформируемых сплавов также получают из отливок, называемых слитками, которые, как и отливки, поражены пористостью. Однако в процессе обработки давлением пористость практически уничтожается путем спрессовывания пор.

Технология изготовления отливок в очень сильной степени зависит от требований заказчика, предъявляемых к их плотности: чем жестче требования по плотности, тем более сложным и дорогим становится технологический процесс изготовления отливок. Например, для предупреждения газовой пористости применяются вакуумная плавка и заливка, а для уменьшения усадочных пор тщательным образом организуется питание отливок с использованием, например, центробежных сил или давления сжатого воздуха в автоклаве.

Для получения плотных отливок технолог может реализовать два принципа затвердевания: одновременное или направленное. Схематически это иллюстрируется на рис. 12.1.

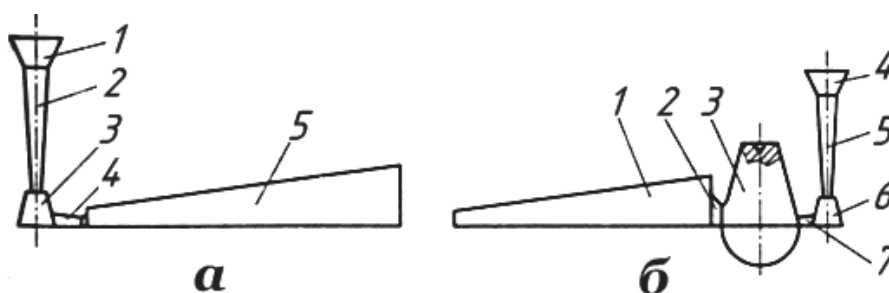


Рис. 12.1. Схемы обеспечения затвердевания отливок: а – одновременное: 1 – воронка; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель; 5 – отливка; б – направленное: 1 – отливка; 2 – шейка; 3 – прибыль; 4 – воронка; 5 – стояк; 6 – шлакоуловитель; 7 – питатель

Принцип одновременного затвердевания реализуется подводом металла в тонкую часть отливки (рис. 12.1, *а*). При заливке тонкая часть отливки разогревается, и отливка в тонких и толстых частях затвердевает одновременно.

Принцип направленного затвердевания реализуется подводом металла в толстую часть отливки (тепловой узел) с обязательным использованием прибылей. На рис. 12.1, *б* показан подвод металла в толстую часть отливки через прибыль.

Под тепловым узлом понимается утолщение в отливке (скопление металла), диаметр вписанной окружности в которое больше, чем прилегающие к нему стенки. Ниже будут рассмотрены средства для реализации названных принципов затвердевания. Однако прежде следует обозначить область их использования. Принцип направленного затвердевания является универсальным, пригодным для любых отливок из любых сплавов. Принцип одновременного затвердевания используется для мелких отливок из любых сплавов эвтектического и около эвтектического состава, когда питание обеспечивается из литниковой системы (стояка) на небольшие расстояния.

Естественно, принцип одновременного затвердевания может быть использован для отливок из серых чугунов эвтектического или около эвтектического состава, расширяющихся при графитизации, которая происходит в некотором интервале температур ниже температуры солидуса (температуры эвтектического превращения). К таким чугунам следует отнести чугуны марок СЧ15 и СЧ20, отливки из которых можно изготавливать без прибылей, соблюдая принцип одновременного затвердевания. Это относится не только к мелким, но и к крупным отливкам серого чугуна СЧ15 и СЧ20. С дальнейшим увеличением числа в марке (начиная с СЧ25) и интервала кристаллизации чугуна отливки из него изготавливают уже с использованием питающих бобышек (такое название они получили из-за малых размеров, связанных с небольшой усадкой затвердевания). Точно так же без прибылей могут изготавливаться мелкие тонкостенные отливки из чугуна с шаровидным графитом при его модифицировании в форме. Большинство отливок из ВЧ можно изготавливать без прибылей, но в жесткую неподатливую форму.

Отливки из любых чугунов с графитом получаются плотнее при их изготовлении в жестких неподатливых формах, что связано с расширением чугунов в некотором интервале температур ниже температуры солидуса (в твердом состоянии). В обычной песчано-глинистой форме плотность отливок будет зависеть от прочности смеси. В малопрочных формах расширение чугуна реализуется в увеличении размеров и образовании усадочных дефектов.

Универсальному принципу направленного затвердевания присущи существенные недостатки – неодновременность затвердевания отливки и, следовательно, повышенная склонность к горячим трещинам, значительная разность температур в объеме отливки и повышенная склонность к временным температурным напряжениям, а в последующем – к остаточным напряжениям.

Реализация принципа одновременного затвердевания, кроме упомянутого подвода металла в тонкую часть отливки, может быть достигнута правильным конструированием отливки по возможности с однородной стенкой и обеспечением одновременного затвердевания разностенной отливки путем неуправляемого (внутренние и внешние холодильники) и управляемого охлаждения.

При конструировании отливок следует избегать скоплений металла, заменяя толстую стенку ребренной, более тонкой с практически одинаковой жесткостью, крестообразное пересечение ребер заменять Т-образным, в котором диаметр вписанной в скопление металла окружности будет меньше и т.п.

Примеры правильного конструирования отливок приведены в гл. 2. «Технологичность литых деталей. Возможность их изготовления».

12.1. НАРУЖНЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ

Элементы формы, применяемые для ускорения затвердевания тепловых узлов отливок, называют «наружными холодильниками». Наружные холодильники можно подразделить по конфигурации на плоские (рис. 12.2, *а*), ребристые, прямолинейные круглого (рис. 12.2, *б*), квадратного или иного постоянного профиля, фасонные переменного профиля (рис. 12.2, *в*), а также по способу изготовления (вырезанные из проката, литые из чугуна и других сплавов). Чаще всего используют чугунные литые холодильники, но они также могут быть изготовлены из стали, медных и алюминиевых сплавов. В отдельных случаях применяют холодильники из материалов, обладающих повышенной теплоаккумулирующей способностью (графит, корунд, хромистый железняк и т. п.), а при захолаживании фасонных поверхностей эффективным является применение захолаживающих смесей, содержащих до 60 % колотой чугунной дроби.

При захолаживании протяженных направляющих станин и других чугунных отливок холодильники делают со скосами (рис. 12.2. *а*) или не доходящими до угла для предотвращения отбела и небольшой длины, так как протяженные холодильники сильно коробятся.

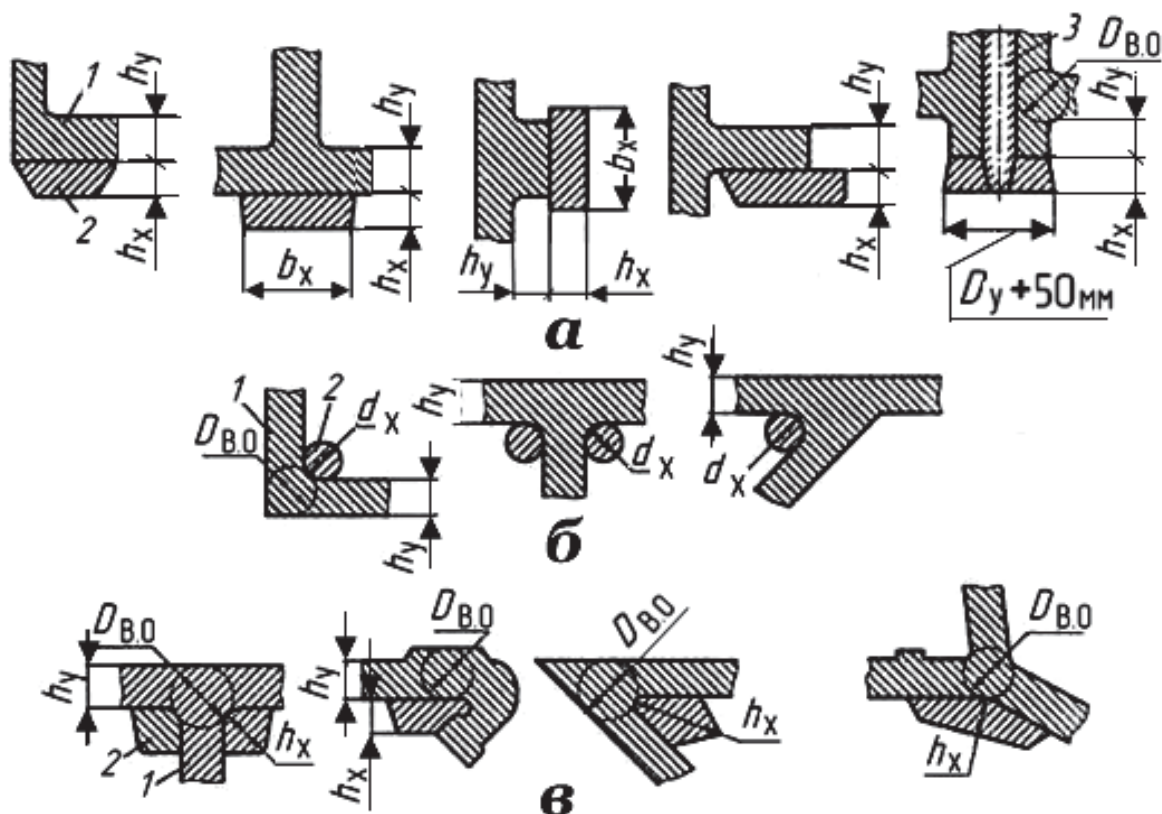


Рис. 12.2. Схема расположения холодильников: а – плоских; б – круглых; в – фасонных; 1 – отливка; 2 – холодильник; 3 – стержень; h_x – толщина холодильника; h_y , D_y – соответственно толщина и диаметр теплового узла; b_x – протяженность холодильника; $D_{в.о}$ – диаметр окружности, вписанной в тепловой узел; d_x – диаметр холодильника

Для определения толщины h_x наружных холодильников для фланцев и местных приливов с диаметром вписанной окружности $D_{в.о}$ можно воспользоваться уравнениями:

– для фланца

$$h_x = 0,14 D_{в.о}^{1.375}; \quad (12.1)$$

– для прилива

$$h_x = 0,19 D_{в.о}^{1.375}. \quad (12.2)$$

Наружные холодильники перед установкой в форму должны быть окрашены так же, как и металлическая форма, во избежание приваривания к отливке.

Необходимо отметить следующие недостатки наружных холодильников:

- наружные холодильники трудно собирать во время выбивки или после нее;
- при задержке заливки на холодильнике в готовой форме появляет-

ся конденсат и, как следствие, происходит образование газовых раковин;
 – при установке в форму холодильников с трещинами разгара, которые появляются при многократных заливках, могут также возникать газовые раковины от расширения воздуха в трещинах, «захлопнутого» при заливке металлом.

Для выравнивания процессов затвердевания, уменьшения остаточных напряжений и сокращения технологического цикла изготовления крупных чугунных и стальных отливок можно использовать управляемое принудительное воздушное охлаждение и принудительное увлажнение литейной формы. Для реализации управляемого охлаждения необходима специальная оснастка. Для примера на рис. 12.3 приведен комплект оснастки, состоящей из плиты 6, нижней полуформы 2 и верхней полуформы (опоки) 1. Нижняя 5 и боковая 4 системы труб с отверстиями 2,0...2,5 мм на стороне, обращенной к отливке, имеют самостоятельные коллекторы и могут работать независимо одна от другой, обеспечивая заданный режим охлаждения отливки 3. К трубам 4 и 5 через коллекторы подводят воду и воздух.

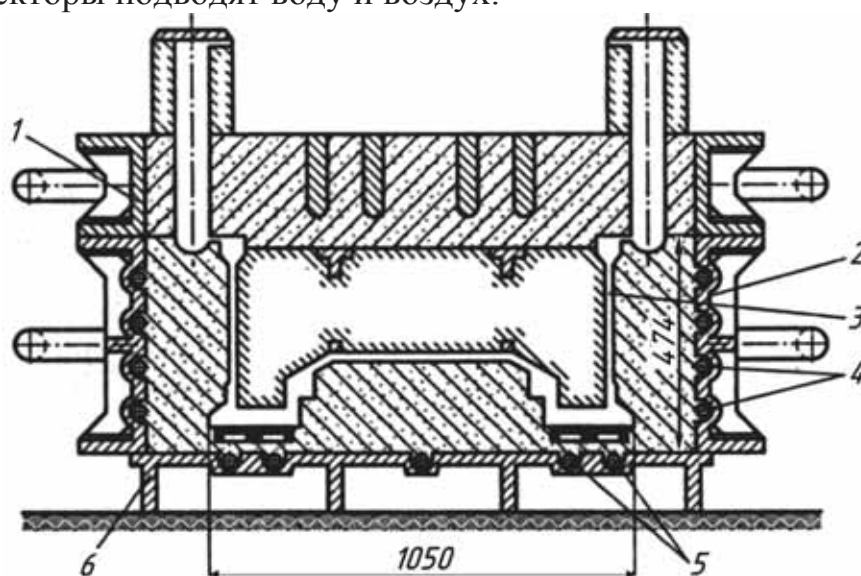


Рис. 12.3. Конструкция оснастки для охлаждения отливок: 1 – верхняя полуформа; 2 – нижняя полуформа; 3 – отливка; 4 – боковая система труб с отверстиями; 5 – то же, нижняя; 6 – постельная плита

После затвердевания отливки или ее поверхностных слоев в форму впрыскивается вода, которая попадает в прогретые слои формы и испаряется. Вслед за порцией воды подается сжатый воздух. В результате температура формы снижается и ускоряется охлаждение отливки. Оснастка позволяет осуществлять комплексное регулирование процессов, обеспечивая подсушку или отверждение формы продувкой теплого

воздуха, отсос газового потока из полости формы при заливке, регулирование охлаждения по оптимальному режиму и снижение прочности формы перед выбивкой за счет ее увлажнения.

Эффективность метода принудительного охлаждения существенно возрастает при автоматическом регулировании процесса охлаждения отливки. Для этого в толстую и тонкую части устанавливают термодпары, и разность температур используется в качестве регулируемого параметра.

12.2. ВНУТРЕННИЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ

Назначение внутренних холодильников такое же, как и наружных, — ускорение затвердевания тепловых узлов и скоплений металла. Внутренние холодильники бывают двух типов. Холодильники первого типа устанавливаются в тех частях отливки, которые удаляются при механической обработке, чаще всего в местах сверления отверстий (рис. 12.4).

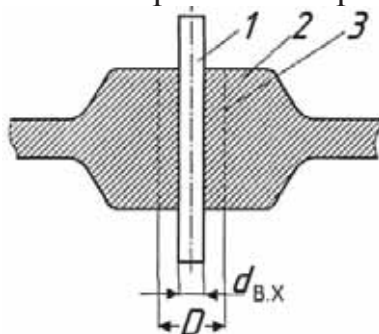


Рис. 12.4. Внутренний холодильник для высверливаемого отверстия: 1 — холодильник; 2 — отливка; 3 — высверливаемое отверстие; $d_{в.х}$ — диаметр внутреннего холодильника; D — диаметр высверливаемого отверстия

Диаметр внутреннего холодильника $d_{в.х}$ можно определить по диаметру D высверливаемого отверстия с помощью эмпирического уравнения, полученного на базе использования регрессионного анализа:

$$d_{в.х} = 0,263D^{1,157}, \quad (12.3)$$

где $12 < D < 90$ мм.

Внутренние холодильники второго типа (рис. 12.5) должны расплавляться в жидком металле или свариваться с металлом отливки. Поэтому к ним предъявляются следующие требования:

- их химический состав должен соответствовать составу заливаемого сплава;
- поверхность холодильника должна быть очищена от окалины и масла, а в случаях испытания отливки на герметичность быть пассивированной или луженой;

– размеры должны быть выбраны в зависимости от размеров теплового узла.

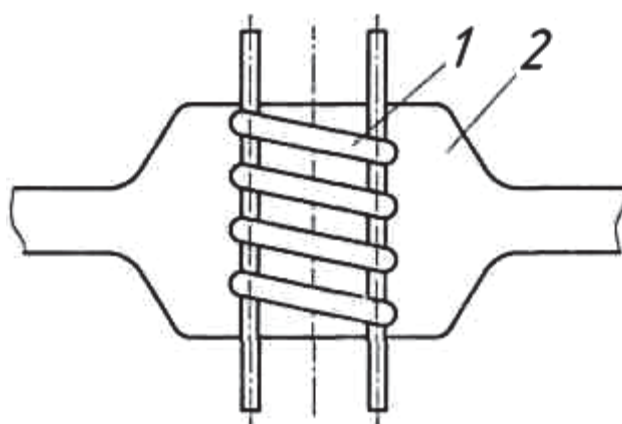


Рис. 12.5. Внутренний спиральный сваривающийся холодильник:
1 – холодильник; 2 – полость формы для массивной части отливки

В табл. 12.1 приведены размеры и число внутренних спиральных холодильников, устанавливаемых в массивных узлах. Об их расположении можно судить по рис. 12.5.

Таблица 12.1

*Диаметр проволоки спирали, диаметры и число прутков-сердечников
внутренних спиральных холодильников*

Характеристика составляющих холодильников	Значение характеристики при диаметре вписанной окружности $D_{в.о.}$, мм				
	30	50	75	100	150
Диаметр проволоки спирали $d_{пр}$, мм	2	3	4	6	6
Допустимый диаметр прутков-сердечников d_c , устанавливаемых внутри спирали, мм	3...4	4...6	6...8	8... 10	10... 12
Допустимое число прутков-сердечников, устанавливаемых внутри спирали	1	1	1...2	2...3	2...3

В зависимости от диаметра $D_{в.о.}$ по табл. 12.1 выбирают диаметр $d_{пр}$ проволоки спирали, допустимый диаметр d_c прутков-сердечников, устанавливаемых внутри спирали, и их допустимое число. Далее по уже найденному значению $d_{пр}$ с помощью табл. 12.1 определяют диаметр D спирали и ее шаг t . Длина l спирали может быть определена из соотношения

$$l = (0,04...0,02)m_y / g, \quad (12.4)$$

где m_y – масса теплового узла, кг; g – масса одного погонного метра

(1 пог. м) спирального холодильника, кг (табл. 12.2).

Таблица 12.2

Размеры и масса внутренних спиральных холодильников

Основные размеры, мм					Масса 1 пог. м g, кг	
Спираль 1			Прутки - сердечники 2		Спираль без прутков-сердечников	Спираль с прутками-сердечниками
$d_{пр}$	D	t	d_c	Количество n		
2,0...2,5	15	6...10	4	1	0,154	0,254
	25	6...10	4	1	0,278	0,378
	35	6...10	6	1	0,400	0,622
3,0...4,0	30	10...15	6	1	0,564	0,786
	45	10...15	6	2	0,842	1,286
	60	10...15	8	2	1,030	1,820
5,0...6,0	50	20...25	8	3	1,230	2,415
	60	20...25	10	3	1,490	3,341
	70	20...25	12	3	1,750	4,414

Холодильники с диаметром проволоки более 20 мм не расплавляются даже в массивных узлах. Общая масса внутренних холодильников должна составлять 2... 4 % массы охлаждаемого узла.

Для реализации принципа направленного затвердевания могут быть использованы внутренние и внешние холодильники и управляемое охлаждение.

Если холодильники не обеспечивают получения плотного металла в узле, то на узел необходимо ставить прибыль.

12.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ НАПУСК

В некоторых случаях прибыль не может быть установлена непосредственно на тепловой узел и ее приходится размещать над тепловым узлом (рис. 12.6). Если не будет организовано направленное затвердевание, то стенка, находящаяся между тепловым узлом и прибылью, может затвердеть раньше и в тепловом узле, который не может питаться из

прибыли, образуются усадочные дефекты. Поэтому «выкатывают» и постепенно увеличивают диаметр вписанной в тепловой узел окружности (например, с углом $3...6^\circ$ в направлении прибыли), затем проводят огибающую эти окружности линию. Разница между профилем отливки и огибающей линией (на рис. 12.6 штриховка сеткой) называется «технологическим напуском», который обеспечивает направленное к прибыли затвердевание и питание теплового узла.

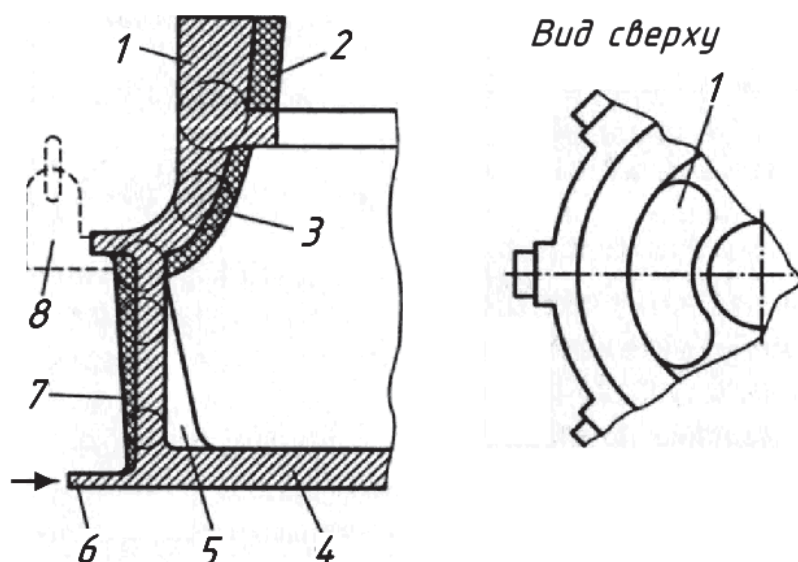


Рис. 12.6. Технологический напуск (прибыль над горячим местом): 1 – открытая прибыль; 2, 3, 5 – технологические напуски; 4 – отливка; 6 – питатель; 7 – ребро; 8 – закрытая боковая прибыль атмосферного давления; стрелкой показано направление подвода металла

Как правило, технологический напуск на готовой отливке должен быть удален механической обработкой.

Технологический напуск можно не доводить до нижнего торца вертикальной стенки, так как прибыль действует на определенную зону, чаще всего представляющую собой полусферу, радиус которой является радиусом действия прибыли. За пределами этой зоны питания отливки не происходит. Естественно, что радиус действия прибыли зависит от напора металла и давления на металл в прибыли (атмосферного, сжатого воздуха и газа), с увеличением давления радиус действия прибыли расширяется, т.е. металл продвигается по междендритным каналам.

Для высоких отливок (плиты, цилиндры, отливаемые вертикально) также требуется технологический напуск на некотором расстоянии h_n от прибыли (рис. 12.7), а нижняя часть отливок будет плотной из-за действия торца и без напуска.

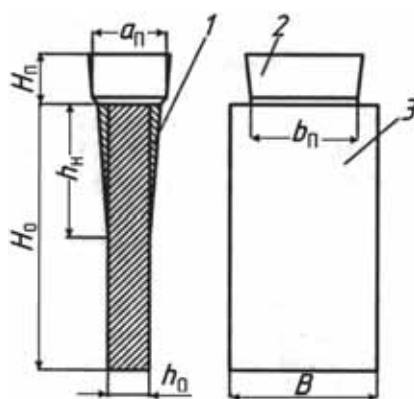


Рис. 12.7. Технологический напуск на высоких отливках, заливаемых вертикально: 1 – технологический напуск; 2 – прибыль; 3 – отливка; a_{Π} , b_{Π} – размеры прибыли в сечении; H_{Π} – высота прибыли; B – ширина отливки; h_0 – толщина отливки; H_0 – высота отливки; h_{Π} – высота напуска

Для цилиндрических вертикальных отливок с однородной толщиной стенок радиус действия прибыли должен быть проверен как по высоте, так и по диаметру. По диаметру прибыль может быть сплошной (рис. 12.8, 1а) или локальной (рис. 12.8, 1б). Для сплошных по диаметру прибылей технологический напуск должен быть также сплошным, для локальных прибылей он может быть (если он нужен) локальным как по вертикали, так и по диаметру (рис. 12.7).

Следовательно, радиус действия прибыли должен быть проверен не менее чем в двух направлениях, а по возможности во всех направлениях.

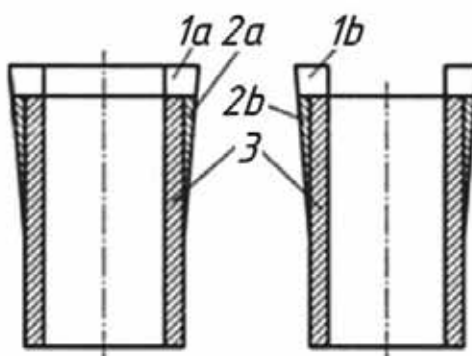


Рис. 12.8. Сплошная (1а) и локальная (1б) прибыли со сплошным (2а) и локальным (2б) технологическим напуском на отливке 3

Другим примером установки прибылей и выполнения технологического напуска может быть отливка крышки (рис. 12.9). Для обеспечения герметичности крышки необходимо поставить четыре прибыли по диаметру фланца и предусмотреть сплошной или локальный технологический напуск.

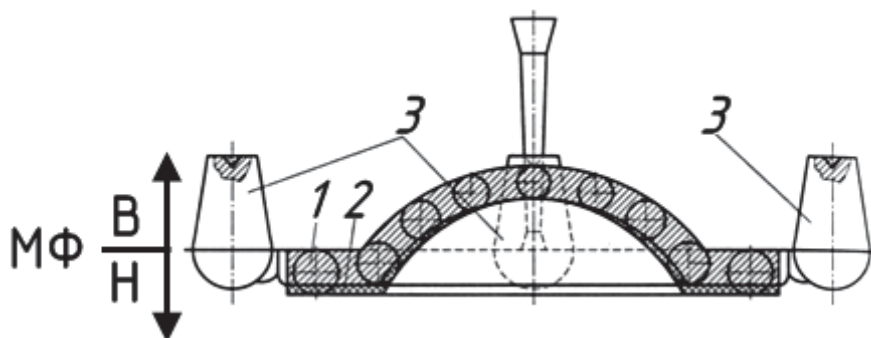


Рис. 12.9. Технологический напуск на отливке крышки: 1 – отливка; 2 – технологический напуск; 3 – прибыли; В, Н – соответственно верх и низ формы; МФ – разъем модели и формы

12.4. КОНСТРУКЦИИ ПРИБЫЛЕЙ

Известно около десятка признаков, по которым прибыли можно объединять в условные группы. В числе таких признаков, характеризующих отдельные группы прибылей, следующие:

- расположение прибылей – верхнее и боковое;
- технология изготовления – открытые и закрытые прибыли;
- характер заполнения прибыли – проточное (проливное) и сливное (отводное);
- протяженность – сплошные, локальные прибыли;
- силы, действующие на металл в прибыли, – гравитационные (действуют только при заливке в вакууме), гравитационноатмосферные, газового давления и высокого давления;
- условия охлаждения – обычные (полость для прибыли выполнена из того же материала, что и литейная форма), теплоизолированные (полость выполнена из менее теплопроводного материала, чем форма), экзотермические (материал полости выделяет теплоту при его нагреве металлом) прибыли;
- способ отделения – отбиваемые, отрезаемые и легкоотделяемые прибыли;
- число питаемых узлов – индивидуальные и групповые прибыли;
- конфигурация прибылей – цилиндрические, шаровые, полушаровые, кольцевые, кольцевые в форме перевернутого стакана с плоским и сферическим дном, прямоугольные, квадратные и сложной формы в соответствии с конфигурацией теплового узла.

Верхние прибыли располагаются, как правило, над массивным узлом в верхней части отливки.

Боковые прибыли соединяются с массивными узлами на вертикальных или наклонных поверхностях отливки.

Открытые прибыли доходят до контрлада формы, и их верхняя поверхность непосредственно сообщается с атмосферой.

Закрытая прибыль со всех сторон окружена формовочной или стержневой смесью.

Проточные (проливные) прибыли, расположенные на пути металла из стояка и литниковых каналов в полость формы, соединяются с отливкой шейкой, и через них (если их несколько) протекает вся масса заливаемого в форму металла, за исключением металла, находящегося в каналах литниковой системы, до проточных (проливных) прибылей.

Сливные прибыли находятся в конце пути заливаемого металла после отливки.

Сплошные прибыли применяются для цилиндрических отливок (например, цилиндров компрессоров) и цилиндрических частей отливок (например, ступиц зубчатых колес). Чаще прибыли выполняют локальными.

Как было отмечено ранее, сила гравитации действует только в условиях вакуума, т. е. когда атмосферное давление равно нулю. При заливке в условиях обычного атмосферного давления, равного 0,1 МПа (1 кгс/см²), или в автоклаве с сетевым или более высоким давлением (давление в сети сжатого воздуха 0,5 МПа (5 кгс/см²), силы гравитации и силы атмосферного давления действуют совместно, т.е. при строгом подходе прибыли являются гравитационно-атмосферными, тем не менее на практике такие прибыли называются «прибылями атмосферного давления».

Атмосферное давление начинает действовать только тогда, когда в междендритных каналах давление снижается относительно атмосферного, т.е. когда там создается вакуум. Этот момент наступает, когда силы тяжести не могут компенсировать уменьшение объема жидкой фазы в междендритных пространствах. Поэтому при уменьшении объема происходит разрыв жидкости, возникает пустота с давлением, равным нулю. В этот момент автоматически проявляется действие атмосферного давления, и металл уже под воздействием совместных сил гравитации и атмосферы продавливается по междендритным каналам в образовавшуюся пустоту, устраняя пористость в отливке.

Выше рассмотрено действие обычной окружающей нас атмосферы – среды с давлением 1 ат = 1 кгс/см² = 0,1 МПа. Затвердевающую отливку может окружать среда с большим (например, литье в автоклаве) или с меньшим (например, литье в вакууме) давлением. Очевидно, что чем больше давление среды, тем плотнее будет отливка.

Совместное действие сил гравитации и сил атмосферного давления влияет не только на продвижение жидкого металла по междендритным каналам, но и на формирование поверхности отливки. В определенных усло-

виях, когда отливка будет представлять собой тело, покрытое снаружи сплошной затвердевшей коркой, имеющее жидкую фазу внутри, которая постепенно уменьшается в объеме, атмосферное давление может произвести смятие корки с поверхности в местах, где ее толщина минимальна. В этих местах образуются так называемые «утяжины». При этом места смятия корки отливки соответствуют внутренним областям пониженного давления или даже вакуума, образующимся вследствие усадки жидкого и затвердевшего металла. При этом, чем выше давление среды, тем больше утяжин должно образоваться на отливках и тем плотнее получится отливка, хотя и с некоторым искажением поверхности.

Приведенное описание прерывистого процесса питания и заполнения пустот отражает суть явления. На практике процесс питания монотонный, происходит постепенно по мере усадки металла в жидком состоянии, его затвердевания и образования пустот. При правильно организованном питании атмосферное давление может деформировать отливку только в прибылях, затвердевающих последними. Наличие вмятин на теле отливки свидетельствует о том, что не был соблюден принцип направленного затвердевания.

Положительное значение сообщаемой с атмосферой поверхности жидкого металла в прибылях было замечено с очень давних времен, и в практике литейного производства известны приемы помешивания металла в прибылях («качания открытых прибылей») или пробивания образующейся на их поверхности затвердевшей корки. В настоящее время применение этого приема сохранилось для открытых прибылей. Кроме того, поверхность прибылей присыпают теплоизолирующим материалом или древесным углем и доливают прибыль горячим металлом.

Для сообщения жидкого металла в закрытых прибылях с атмосферой используют специальные газопроницаемые стержни, которые устанавливают в модель при формовке (рис. 12.10, а).

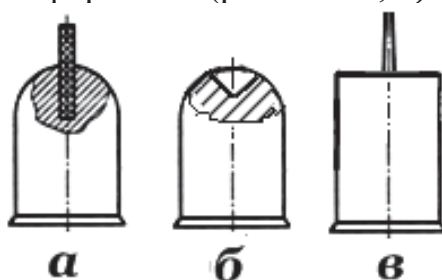


Рис. 12.10. Варианты сообщения жидкого металла в прибыли с атмосферой: а — газопроницаемый стержень; б — болванчик в прибыли; в — шпилька на прибыли

Особенно необходимы эти стержни для закрытых прибылей с выпуклой поверхностью (шаровые, полушаровые и др.), так как на такой поверхности быстро образуется твердая корка и только газопроницае-

мый стержень обеспечивает связь жидкого металла с атмосферой

В сырых формах, особенно при машинной и автоматической формовке, на плоской поверхности моделей закрытых прибылей выполняются углубления, а в форме – болванчики (рис. 12.10, б), которые разогреваются, и твердая корка в этих местах не образуется. Таким способом обеспечивается сообщение жидкого металла в прибыли с атмосферой. Другим вариантом сообщения с атмосферой является установка на плоской поверхности прибыли шпилек существенно меньшего, чем у прибыли, диаметра с небольшим радиусом перехода в местах сопряжения (рис. 12.10, в). Так как в этих местах твердая корка также не образуется, обеспечивается сообщение металла с атмосферой.

Атмосферно закрытые прибыли обеспечивают питание лежащих выше прибыли частей отливок. Доказательством этого положения может служить опыт, который демонстрировал студентам профессор Б. В. Рабинович. Схема опыта с двумя стеклянными сосудами 2 и 3 разной высоты, соединенными трубкой 4, приведена на рис. 12.11. При открытии крана 1, расположенного на закрытом высоком сосуде, вода вытекает из него, но уровень воды опускается только в сосуде 3 малой высоты, который сообщается с атмосферой. Высокий же сосуд остается заполненным до верхнего уровня до тех пор, пока уровень воды в низком сосуде 3 не достигнет уровня трубки, соединяющей сосуды.

Легко показать, что атмосферное давление $p_{\text{атм}}$ будет удерживать заполненным водой ($\rho = 1 \text{ кг/м}^3$) сосуд 2 высотой 10 м. При заполнении сосуда другими жидкими веществами его высота, удерживаемая атмосферным давлением, будет иной в зависимости от плотности веществ. Для наиболее тяжелой из всех жидкостей – ртути ($\rho = 13\,520 \text{ кг/м}^3$) высота сосуда будет равна 760 мм, для чугуна ($\rho = 6900 \text{ кг/м}^3$) – 1450 мм, для медных сплавов ($\rho = 8900 \text{ г/м}^3$) – 1124 мм, а для алюминиевых сплавов ($\rho = 2300 \text{ кг/м}^3$) – 4348 мм. Приведенные данные опытов и расчетов свидетельствуют, что закрытые боковые атмосферные прибыли питают и части отливки, расположенные выше прибыли.

Следует заметить, что приведенные значения высот условных сосудов, удерживаемых атмосферным давлением, дают представление о размерах отливок, для которых атмосферное давление будет иметь решающее значение в питании отливок по сравнению с силой тяжести, определяющей напор металла. Например, для чугунных отливок, изготавливаемых в опоках высотой 300 мм, а следовательно, при напоре 300 мм решающим будет атмосферное давление, обеспечивающее давление столба чугуна 1450 мм, а для отливок высотой, например 3 м, решающим будет уже напор металла.

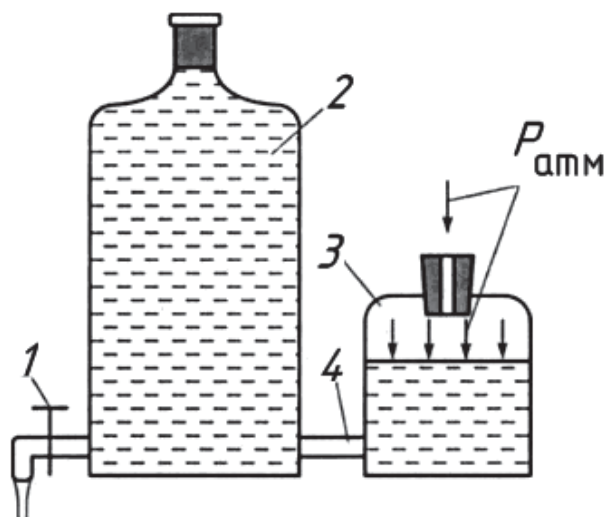


Рис. 12.11. Схема демонстрационного опыта о питании вышележащих слоев за счет прибыли: 1 – кран; 2 – высокий сосуд; 3 – низкий сосуд; 4 – соединительная трубка; $p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление

Очевидно, что при литье в автоклаве решающим всегда будет давление окружающей среды (автоклавное давление), а отливки будут практически плотными, не пораженными ни усадочной, ни газовой пористостью. Последняя не будет образовываться, так как растворенный в металле газ при повышенном давлении не будет выделяться, т. е. окажется зафиксированным в растворе.

Прибыли газового (рис. 12.12) и высокого (рис. 12.13) давления, в которых давление на жидкий металл создается за счет газа, образующегося при разложении «газового заряда» (например, $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) или подаваемого от сети, от баллона (т.е. сжатого газа), не нашли практического применения из-за сложности определения момента «подключения» давления.

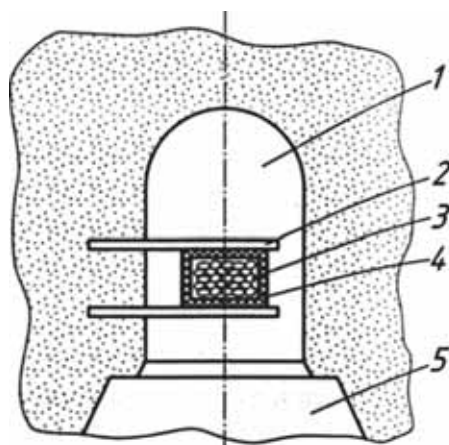


Рис. 12.12. Прибыль газового давления: 1 – прибыль; 2 – удерживающая арматура; 3 – заряд; 4 – керамическая коробочка; 5 – отливка

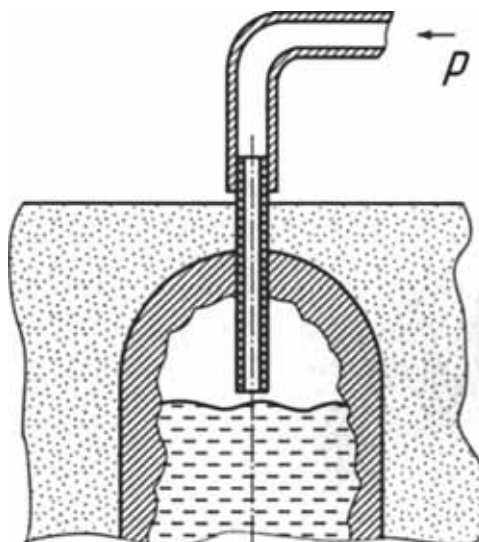


Рис. 12.13. Прибыль высокого (воздушного) давления p

При раннем подключении на частях отливки, на которых твердая корка или еще не образовалась, или она еще не прочная, могут возникнуть сильный пригар и подутие. При позднем подключении давления сильно уменьшается эффективность работы прибыли. Следовательно, прибыли атмосферного давления с его естественным воздействием выгодно отличаются от прибылей газового и высокого давления.

Очевидно, что объем прибылей атмосферного давления и прибылей, работающих в среде более высоких давлений, зависит от давления: прибыли тем меньше, чем выше давление. На уменьшение объема прибылей направлены также теплоизоляция и обогрев прибылей экзотермическими смесями. Для реализации теплоизоляции и обогрева прибылей в форму устанавливают пустотелые стержни-оболочки, изготовленные из теплоизоляционных и экзотермических смесей (рис. 12.14).

Из стержневой смеси по специальным стержневым ящикам изготовляют пустотелые стержни-оболочки, которые после соответствующей сушки устанавливают на модельную плиту при формовке. Основу теплоизоляционных смесей составляют материалы, имеющие меньший по сравнению с формовочной смесью коэффициент теплоаккумуляции. Во многих теплоизоляционных смесях используют вспученный перлит в количестве 35...60 %, например смесь, содержащую вспученный перлит (60 %) и огнеупорную глину (40 %) в качестве связующего (вода сверх 100 %). Коэффициент теплоаккумуляции такой смеси с глиной – 285...315, тогда как обычной песчано-глинистой смеси для отливок из чугуна – $1370 \text{ Вт} \cdot \text{с}^{1/2}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

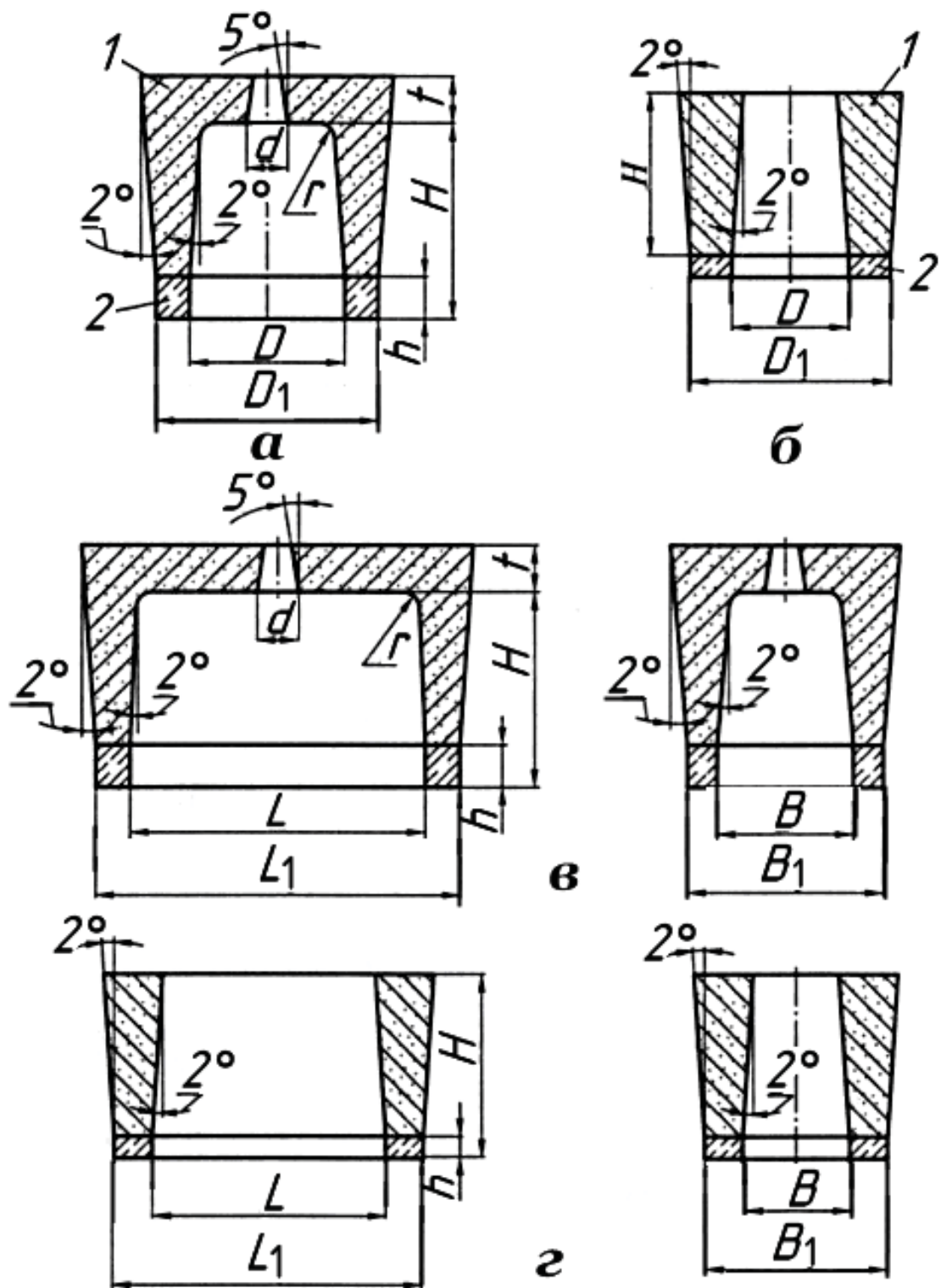


Рис. 12.14. Экзотермические круглые (а, б) и овальные (в, г) стержни-оболочки для обогрева закрытых (а, в) и открытых (б, г) при-былей: 1 — стержень-оболочка; 2 — подставка; $H, t, d, r, D, D_1, h, L, L_1, B, B_1$ — кон-структивные размеры стержней-оболочек

Более эффективным является применение экзотермических смесей. Основу этих смесей составляют три компонента: порошок алюминия марки АПВ, железная и марганцевая руда. При их взаимодействии (только с железной рудой) выделяется большое количество теплоты по реакции $8\text{Al} + 3\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow 4\text{Al}_2\text{O}_3 + 9\text{Fe} + Q$.

На основе названных материалов в количестве примерно 15 % готовится стержневая смесь. В качестве связующего используют формовочную глину и жидкое стекло. Наполнителями смеси могут служить шамотная крошка, гипс. В качестве катализатора приведенной выше реакции (ее воспламенителя) используют калийную или натриевую селитру (KNO_3 или NaNO_3) и криолит (Na_3AlF_6 – фторид натрия и алюминия).

Составы смесей и размерный ряд стержней разрабатывают и отрабатывают на каждом заводе. Примером могут служить составы экзотермических смесей, приведенные в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Состав экзотермических смесей в зависимости от приведенной толщины теплового узла отливки R_0

Компонент смеси	Содержание компонента, мас. %, при R_0 , м		
	0,01...0,02	0,020...0,035	0,035...0,060
Алюминиевый порошок	30	20... 25	18
Железная руда	16	10	12
Марганцевая руда	4	4	4
Криолит	3	3	3
Глина огнеупорная	10	10	10
Шамотный порошок	26	26...30	39
Калийная селитра	6	4	3
Связующее	5	5	5
Вода (сверх 100 %)	До формуемости		

Из смесей приведенных составов могут быть изготовлены стержни-оболочки. Например, в табл. 12.4 приведены размеры стержней-оболочек для цилиндрических закрытых атмосферных прибылей. В последние годы для экзотермических смесей используются синтетические холоднотвердеющие смеси, из которых изготавливают стержни-оболочки, устанавливаемые на модельные плиты при формовке.

Таблица 12.4

Размеры стержней-оболочек для цилиндрических прибылей

Прибыль	Масса прибыли для стали, кг	Размеры*, мм			
		D_{Π}	H_{Π}	$D_{\text{Об}}$	$H_{\text{Об}}$
№ 1	4,4	90	115	125	125
№2	5,8	100	120	140	130
№3	8,2	115	135	170	150
№4	12,5	135	155	195	175
№5	21,0	160	180	225	205
№6	36,0	190	210	260	240
№7	57,0	225	245	300	280
№8	70,0	235	260	320	300
№9	96,0	260	285	365	340
№ 10	130,0	285	330	390	380
№ 11	165,0	300	375	410	430
№ 12	210,0	310	420	420	480

* D_{Π} , H_{Π} – соответственно диаметр и высота прибыли; $D_{\text{Об}}$, $H_{\text{Об}}$ – то же, стержней-оболочек.

Трудоемкой операцией является отделение прибылей, хотя трудоемкость ее в большой мере зависит от опыта технолога-литейщика.

При проектировании боковой прибыли для чугунных отливок ее шейка выполняется с «провокатором концентрации напряжений» (узкое место между отливкой и прибылью) (рис. 11.3, в). Поэтому такая прибыль в некоторых случаях удаляется при выбивке (на выбивной решетке или в последующем) легким ударом молотка или кувалды. Прибыли отливок из сплавов, обладающих в литом состоянии пластическими свойствами (углеродистая сталь, алюминиевые, магниевые, медные сплавы), отрезаются плазменным или кислородно-ацетиленовым резком (сталь), ленточной или механической пилой (алюминиевые, магниевые, медные сплавы).

Место отрезки определенной толщины предусматривает технолог в зависимости от технологии отрезки.

От технолога также зависит возможность использования легкоотделяемых прибылей, главным образом, локальных верхних открытых или закрытых (рис. 12.15).

На месте реза прибыли в форме должны быть предусмотрены знаковые части для установки керамического стержня-пластины с отверстием в центре. Размеры стержня, в основном его толщина, подбираются таким образом, чтобы металл в отверстии стержня не зарастал твер-

дой коркой, т.е. по существу температура пластины в ее центре должна быть выше температуры солидуса металла отливки.

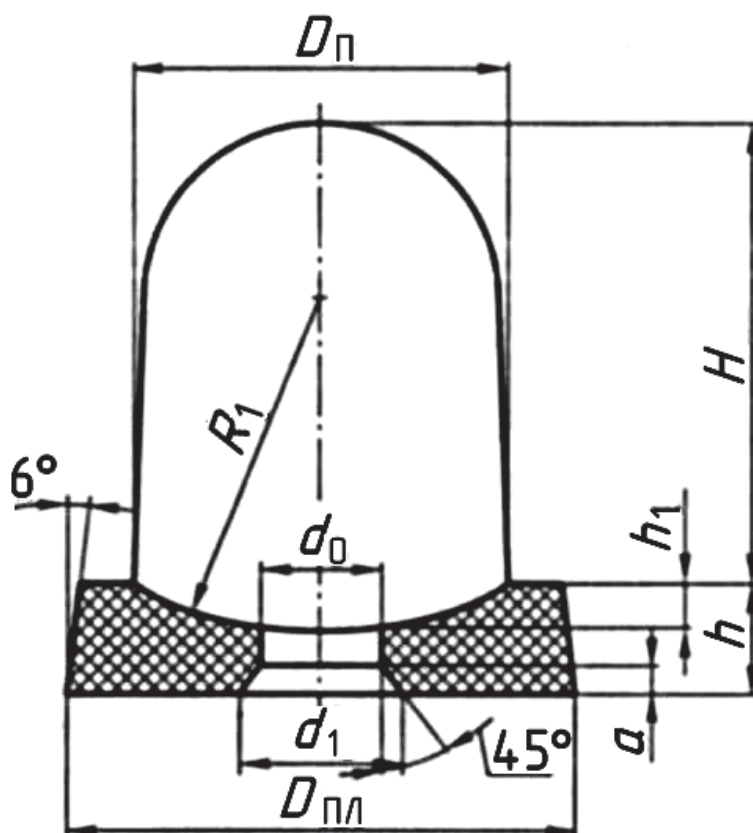


Рис. 12.15. Керамическая пластина для легкоотделяемой прибыли:
 $D_{\text{П}}$, R_1 , d_0 , d_1 , $D_{\text{ПЛ}}$, a , H , h , h_1 – конструктивные размеры прибыльных пластин

Питание из прибыли обеспечивается через отверстие в стержне. В результате у затвердевшей и выбитой отливки прибыль либо легко отрезается либо отделяется, например ударом кувалды или молотка. Поэтому прибыли и были названы «легкоотделяемыми». При этом стоимость пластины намного дешевле затрат на отделение обычной прибыли.

Размеры подприбыльных пластин могут быть определены по эмпирическим соотношениям

$$d_0 = 0,4D_{\text{П}}, \quad d_1 = 1,2d_0, \quad D_{\text{ПЛ}} = 1,3 D_{\text{П}}, \quad h = 0,12D_{\text{П}} + 0,8\sqrt{D_{\text{П}}}, \quad (12.5)$$

где d_0 – верхний диаметр отверстия в пластине; $D_{\text{П}}$ – диаметр прибыли; d_1 – нижний диаметр отверстия в пластине; $D_{\text{ПЛ}}$ – нижний диаметр пластины; h – толщина.

Составы смесей для изготовления подприбыльных пластин приведены в табл. 12.5.

Таблица 12.5

Состав формовочных смесей для подприбыльных пластин

Смесь	Содержание компонента, мас. %					
	Кварцевый песок	Шамотный песок	Глина огнеупорная	Хромитовый порошок	Графит	Сульфитный щелок
Песчано-глинистая						
1	70...60	—	30...40	—	—	—
2	85	—	10	—	—	5
Шамотно-глинистая	—	70...60	30...40		—	—
Шамотно-глинохромистая	—	40...50	25...30	25...30	—	—
Шамотно графитоглинистая	—	25...45	35...45	—	20...35	—

Для мелких отливок, для которых обычно используют боковые прибыли, выгодно использовать не индивидуальную боковую прибыль, а прибыль, обеспечивающую питание двух или даже трех отливок, при этом расход металла на прибыль будет существенно меньше. Для иллюстрации этого положения о числе питаемых узлов можно воспользоваться экспериментальными зависимостями (далее подразд. 12.5.3).

Примем, что тепловой узел одной отливки имеет массу 20 кг с приведенным размером $R_{\text{ПР}} = 1$ см. Объем прибыли составляет 500 см^3 . Для двух одинаковых отливок с индивидуальными прибылями их объем составит 1000 см^3 . Объем одной групповой прибыли, питающей два тепловых узла массой $2 \times 20 = 40$ кг, должен быть равен 600 см^3 . Следовательно, объем одной групповой прибыли будет в $1000/600 = 1,67$ раза меньше объема двух индивидуальных. Форма перечисленных выше прибылей будет несколько изменяться в зависимости от других ее признаков. Например, если прибыль открытая, то она будет расширяющейся кверху, и она будет сужающейся для закрытого варианта прибыли. Кольцевые прибыли могут иметь уклон либо с двух сторон, либо только с одной.

Описывая конструкции прибылей, следует еще раз остановиться на рассмотрении радиуса действия прибылей. В литературе по литью можно встретить другую формулировку этого понятия – «дистанция прибыли» или «протяженность зоны действия прибыли».

Предпочтительнее термин «радиус действия прибыли», поскольку он

более точно отражает характер явления – действие прибыли распространяется чаще всего на полусферу, описываемую радиусом, на котором прибыль осуществляет питание отливки для получения заданной пористости.

12.5. РАСЧЕТ ПРИБЫЛЕЙ

12.5.1. Определение тепловых узлов

Расчет прибылей начинается с определения тепловых (горячих, термических, массивных) узлов – скоплений металла в отливке. Для этого в тепловые узлы вписывают окружность диаметром $D_{в.о}$ таким образом (рис. 12.16), чтобы она одновременно касалась всех очертаний этого узла.

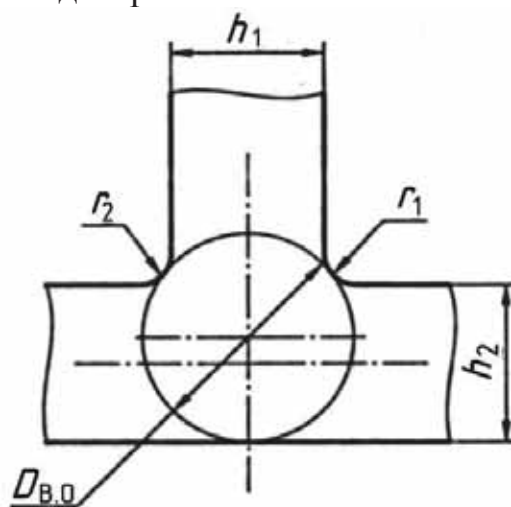


Рис. 12.16. Элемент отливки для определения теплового узла:
 h_1 , r_1 , r_2 , h_2 , $D_{в.о}$ – размеры, необходимые при расчете прибылей

Далее определяют отношение диаметра $D_{в.о}$ вписанной окружности к максимальной толщине h_{MAX} стенки, подходящей к этому узлу, т. е. $D_{в.о}/h_{MAX}$. Важным являясь правильный выбор допустимого граничного значения этого отношения для конкретного сплава – критерия K_y узла, с которым требуется сравнить отношение $D_{в.о}/h_{MAX}$. Узел является тепловым, если $D_{в.о}/h_{MAX} > K_y$, в противном случае рассматриваемый узел тепловым не является. Трудности выбора критерия K связаны с разной продолжительностью затвердевания отдельных узлов, имеющих одинаковые значения K_y . Кроме того, критерий K_y зависит от типа сплава и от требований к отливке. В первом приближении для отливок общего назначения ориентировочные допустимые значения критерия K_y можно принять по следующим данным:

Сталь	СЧ1	А1-сплавы	Mg-сплавы	Cu-сплавы
1,1...1,2	1,2...1,3	1,2...1,3	1,15...1,25	1,2...1,4

При значениях K_y , превышающих приведенные, в отливках возможны усадочные дефекты. Следует еще раз указать на ориентировочный характер этих данных, поэтому важно и необходимо их постоянно накапливать и систематизировать.

12.5.2. Определение числа прибылей

При расчете прибылей необходимы данные по радиусу действия прибылей $l_{д.п.}$, холодильников l_x и торцов l_T (рис. 12.17). Некоторые сведения по данному вопросу приведены в табл. 12.6.

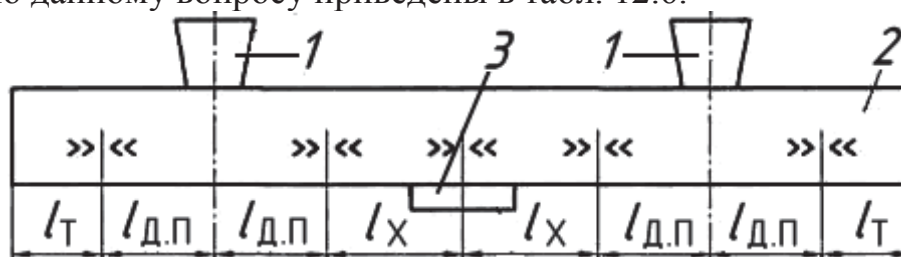


Рис. 12.17. Радиусы действия прибылей (1), торцов (2) и протяженность зоны действия холодильников (3): l_T , $l_{д.п.}$, l_x — длина тепловых зон действия торцов, прибылей и холодильников соответственно; «>><<» — области появления пористости

В соответствии с определенными тепловыми узлами и данными табл. 12.6 технолог должен назначить места установки прибылей и холодильников.

Таблица 12.6

Относительная протяженность зон действия радиуса питания прибыли $l_{д.п.}$, торцового эффекта l_T , и холодильника l_x для отливок типа бруска, плиты и кольца

Сплав	Относительная протяженность области плотного металла		
	Прибыльная зона, $K_{п.} = l_{д.п.}/h_0$	Зона торцового эффекта, $K_T = l_T/h_0$	Зона действия холодильника, $K_K = l_x/h_0$
Сталь углеродистая, белый чугун	2,5	2,0	3,0
Сталь легированная	1,5	1,875	2,5
Латунь (70% Cu, 30% Zn)	2,0	2,5	2,5
Латунь с 4 % Zn	1,77	2,23	2,5
Алюминиевая бронза	2,0	2,5	3,0
Марганцовистая бронза	2,0	2,5	2,5
Силумин	3,5	4,5	3,5
Al-Cu	3,0	5,5	4,0

После определения мест установки прибылей следует рассчитать объемы и размеры прибылей (подразд. 12.5.3), толщину и массу холодильников (подразд. 12.5.4). Затем следует проверка с целью ответа на вопрос: обеспечивается ли принятым числом прибылей и (или) холодильников заданное качество отливки? Для этого измеряют расстояния l_o от края прибыли для трех случаев:

- до торцов отливки;
- до края соседней прибыли;
- до края соседнего холодильника.

Эти расстояния сравнивают с радиусами действия торцов, прибылей и холодильников. Если стенки отливки изогнуты (плавно или по ломаной линии), то за расстояние l_o следует принимать протяженность средней линии стенки отливки. При правильной установке прибылей и холодильников должны выполняться определенные условия, которые для указанных выше трех случаев имеют вид следующих неравенств:

$$l_{o(1)} \leq 2l_{д.п} + l_T; \quad l_{o(2)} \leq 4l_{д.п}; \quad l_{o(3)} \leq 2(l_{д.п} + l_x). \quad (12.6)$$

Если какое-либо из неравенств не выполняется, необходимо установить дополнительно прибыль или холодильник, использовать технологический напуск или изменить протяженность прибыли.

При установке дополнительных прибылей их число в соответствии с вышеприведенными вычислениями составит:

$$n_{п(1)} = \frac{l_o - l_{д.п} - l_T}{2l_{д.п}}; \quad n_{п(2)} = \frac{l_o - 2l_{д.п}}{2l_{д.п}}; \quad n_{п(3)} = \frac{l_o - l_x - l_{д.п}}{2l_{д.п}}. \quad (12.7)$$

Для определения числа дополнительных холодильников используют уравнения, аналогичные уравнениям (12.7):

$$n_{х(1)} = \frac{l_o - l_{д.п} - l_T}{2l_x}; \quad n_{х(2)} = \frac{l_o - 2l_{д.п}}{2l_x}; \quad n_{х(3)} = \frac{l_o - l_x - l_{д.п}}{2l_x}. \quad (12.8)$$

Протяженность технологического напуска определяют как разность по следующим уравнениям:

$$l_{н(1)} = l_o - l_{д.п} - l_T; \quad l_{н(2)} = l_o - 2l_{д.п}; \quad l_{н(3)} = l_o - l_{д.п} - l_x. \quad (12.9)$$

Если по уравнениям (12.7) получается $n_{п} \leq 0,1$, то протяженность прибылей можно увеличить.

Дополнительные прибыли и холодильники можно рассчитать также с помощью иных методов, например, как описано в подразд. 12.5.3 и 12.5.4.

При установке дополнительных прибылей для имеющихся прибылей следует выполнить перерасчет в соответствии с изменившейся мас-

сой питаемого узла. Следовательно, определение числа прибылей, их объемов и размеров осуществляется, как и решение других технологических задач, методом последовательных приближений.

12.5.3. Расчет массы (объема) и размеров прибылей для отливок, изготавливаемых в песчано-глинистых формах

При расчете прибылей необходимо учитывать, что прибыль должна:

- 1) иметь минимальный запас металла по объему (массе) для обеспечения питания отливки и вывода в нее усадочных дефектов из отливки;
- 2) затвердевать позже питаемого узла, для чего иметь минимальную поверхность охлаждения.

Кроме того, конструкция и расположение прибылей должны обеспечить, по возможности, удобство формовки, минимальные затруднения усадки отливки и минимальные затраты на их отделение от отливки.

По расчету прибылей имеется обширная литература. Здесь приводится описание двух эмпирических методов расчета: метод Й. Пржибыла и метод Б. В. Рабиновича (расчет по массе питаемого узла и его приведенному размеру).

Метод Й. Пржибыла. В этом методе используется коэффициент прибыли K_{Π} , который определяется экспериментально и равен отношению объема прибыли V_{Π} к объему усадочной раковины $V_{y.p.}$,

$$K_{\Pi} = V_{\Pi}/V_{y.p.} \quad (12.10)$$

В то же время, исходя из физических представлений, объем усадочной раковины $V_{y.p.}$ можно определить, используя уравнение:

$$V_{y.p.} = \varepsilon_{v_{\Sigma}} (V_0 + V_{\Pi}), \quad (12.11)$$

где $\varepsilon_{v_{\Sigma}}$ – суммарная относительная объемная усадка затвердевания и усадка в жидком состоянии; V_0 , V_{Π} – объемы отливки и питаемого узла, очерченного радиусом действия прибыли.

Тогда совместное решение уравнений (12.10) и (12.11) приведет к уравнению для объема прибыли

$$V_{\Pi} = \frac{\varepsilon_{v_{\Sigma}} K_{\Pi}}{1 - \varepsilon_{v_{\Sigma}} K_{\Pi}} V_0. \quad (12.12)$$

Данные для вычислений с помощью уравнения (12.12) приведены в табл. 12.7.

Таблица 12.7

Значения суммарной усадки $\varepsilon_{V_{\Sigma}}$ и коэффициента прибыли K_{Π} для пяти видов прибылей из разных сплавов

Сплав	$\varepsilon_{V_{\Sigma}}$	K_{Π} для прибылей				
		атмо-сферно открытых	атмо-сферно закрытых	при заливке в автоклаве	атмо-сферных теплоизолированных	атмо-сферных экзотермических
Среднеуглеродистая сталь	0,05	9... 12	7,5...9,0	5,5...7,0	6,0...7,5	4.5...5,0
ВЧ	0,045...0,060	9... 12	7,5...9,0	5,5...7,0	6,0...7,5	4.5...5,0
АЛ2 (АК12)	0,030...0,035	8...10	6,0...9,0	5,0...6,0	5,0...6,0	3,0...4,0
АЛ4 (АК9ч)	0,032...0,034	8...10	6,0...9,0	5,0...6,0	5,0...6,0	3,0...4,0
АЛ5 (АК5М)	0,045...0,049	8...10	6,0...9,0	5,0...6,0	5,0...6,0	3,0...4,0
АЛ11 (АК7Ц9)	0,040...0,045	8...10	6,0...9,0	5,0...6,0	5,0...6,0	3,0...4,0
Магниевый	0,040...0,070	8...10	6,0...9,0	5,0...6,0	5,0...6,0	3,0...4,0
Латунь ЛЦ40С1	0,060...0,065	10	9,0	6,7	7...8	5

После нахождения объема прибыли V_{Π} размеры ее поперечного сечения a_{Π} , b_{Π} и высоту H_{Π} прибыли можно вычислить по следующим уравнениям:

$$a_{\Pi} = k_K k_P \sqrt[3]{(k_{\Pi} k_{\Phi} / k_V) / V_{\Pi}} \quad (12.13)$$

$$H_{\Pi} = k_V a_{\Pi}, \quad (12.14)$$

где $a_{\Pi} = b_{\Pi}$ для квадратного сечения прибыли, $a_{\Pi} = d_{\Pi}$ для прибыли круглого сечения (цилиндра диаметром d_{Π} , шара диаметром d_{Π}), $a_{\Pi} = b_{\Pi} / k_{\Pi}$ для прямоугольного сечения (k_{Π} – коэффициент соотношения сторон прямоугольного сечения, для квадратного и круглого сечений $k_{\Pi} = 1$); k_K – коэффициент, определяемый числом питаемых отливок от одной прибыли ($k_K = 1$ для одной отливки, $k_K = 0,7$ для двух отливок, $k_K = 0,58$ для трех и $k_K = 0,5$ для четырех отливок); k_P – коэффициент превышения размера прибыли над размером отливки, $k_P = 1,1... 1,2$ (для отливки типа плиты $k_P = 1$); k_{Φ} – коэффициент формы локальной прибыли, $k_{\Phi} = 1$ для квадратного поперечного сечения, $k_{\Phi} = 1,27$ для цилиндрического поперечного сечения, $k_{\Phi} = 1,6$ для шара, $k_{\Phi} = 2,0$ для продольного полушарового сечения с отношением $H_{\Pi} / D_{\Pi} = 1,5$; k_V – коэффициент высоты прибыли ($k_V = 1,5$ для закрытой локальной

отводной боковой) прибыли, $k_B = 1,2$ для локальной верхней открытой прибыли, $k_B = 1,0$ для сплошной открытой и закрытой прибылей).

Для кольцевой (цилиндрической) сплошной открытой и закрытой прибылей:

$$a_{\Pi} = k_P D_{B.O} = k_P \left(\frac{D_H - D_{B.H}}{2} \right); \quad b_{\Pi} = \pi \frac{D_H - D_{B.H}}{2}, \quad (12.15)$$

где a_{Π} , b_{Π} , k_P – то же, что в уравнении (12.13); $D_{B.O}$ – диаметр вписанной окружности в месте установки прибыли; D_H , $D_{B.H}$ – соответственно наружный и внутренний диаметры кольцевой цилиндрической отливки.

Для пустотелых квадратных и прямоугольных сплошных открытых и закрытых прибылей:

$$a_{\Pi} = k_P D_{B.O}; \quad b_{\Pi} = \frac{P_H - P_{B.H}}{2}, \quad (12.16)$$

где P_H , $P_{B.H}$ – наружный и внутренний периметры поперечного сечения отливки.

Размеры нижнего ($a_{\Pi.H}$, $b_{\Pi.H}$) и верхнего ($a_{\Pi.B}$, $b_{\Pi.B}$) сечений прибыли с учетом углов уклонов прибыли (α_H) и технологического напуска (a_H), а также высоты $H_{O.H}$ отливки с напуском можно определить по следующим уравнениям:

$$\begin{aligned} a_{\Pi.H} &= a_{\Pi} + K_H H_{O.H} \operatorname{tg} \alpha_H; & b_{\Pi.H} &= b_{\Pi} + K_H H_{O.H} \operatorname{tg} \alpha_H; & a_{\Pi.B} &= a_{\Pi.H} \pm H_{\Pi} \operatorname{tg} \alpha_H; \\ & & b_{\Pi.B} &= b_{\Pi.H} \pm H_{\Pi} \operatorname{tg} \alpha_H, \end{aligned} \quad (12.17)$$

где a_{Π} , b_{Π} – размеры прибыли; K_H – коэффициент угла уклона технологического напуска (при $K_H = 1$ угол уклона технологического напуска расположен с одной стороны стенки отливки, при $K = 2$ – с двух сторон стенки отливки и при $K_H = 0$ технологический напуск отсутствует).

Уравнение (12.12) в методе Й. Пржибыла и уравнение (12.13), предложенное А.П. Труховым, позволили обобщить расчет практически для всех видов прибылей для отливок из практически всех видов сплавов.

Метод расчета по массе питаемого узла и приведенному размеру. Профессор Б. В. Рабинович одним из первых установил, что зависимость объема (массы) прибыли от объема (массы) питаемого узла отклоняется от прямолинейной, вытекающей из физических представлений и принятой в методе Й. Пржибыла. Кроме того, объем прибыли зависит от приведенного размера в месте подвода металла: при увеличении приведенного размера криволинейная зависимость смещается вверх (рис. 12.18).

На рис. 12.18 приведены экспериментальные зависимости для отливок типа плиты из белого чугуна, получаемых в сырых песчано-глинистых формах.

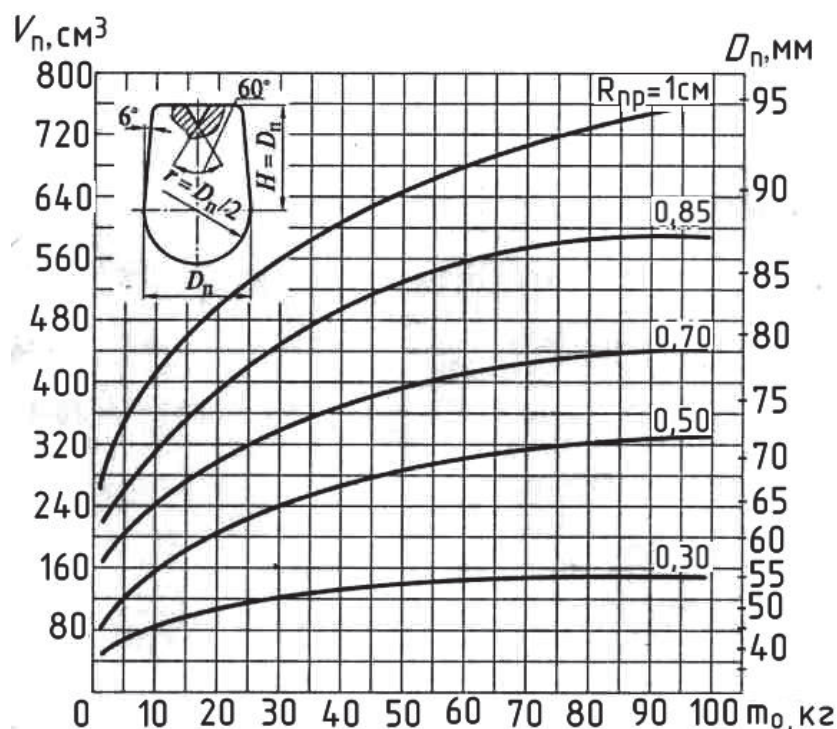


Рис. 12.18. Экспериментальные зависимости объема V_{Π} и диаметра D_{Π} прибыли от массы m_O отливки (питаемого узла) и приведенного размера $R_{\Pi P}$ в месте подвода металла

Приведенные зависимости, а также результаты экспериментов А.П.Трухова и К. К. Шабенова, которые были проведены в производственных условиях в цехе серого и высокопрочного чугуна литейного завода КамАЗ, обработаны с использованием методики регрессионного анализа. Получено следующее уравнение для расчета прибылей для чугунных отливок:

$$V_{\Pi} = 52,4 \varepsilon_{V_{\Sigma}} R_{\text{м.п.м}}^2 m_O^{0,312}, \quad (12.18)$$

где $\varepsilon_{V_{\Sigma}}$ – суммарная объемная усадка металла в жидком состоянии и усадка затвердевания, %; $R_{\text{м.п.м}}$ – приведенный размер отливки в месте подвода металла, см; m_O – масса отливки или питаемого узла, кг.

Объемная усадка в жидком состоянии учитывается полностью (в запас), несмотря на то, что частично она компенсируется из стояка. При определении объемной суммарной усадки принимается, что при переходе из жидкого состояния в твердое у всех сплавов системы Fe – C объемная усадка составляет 3 %. На каждый 1 % снижения содержания углерода в чугунах, начиная с 4,3 % (эвтектический чугун), усадка увеличивается на 0,9 %. При выделении 1 % графита происходит расширение чугунов на 2 %.

Реально в аустените чугунов растворено 1,6 % углерода. Объемный коэффициент термического сжатия чугунов в жидком состоянии

$$\alpha_{V_{ж}} = (0,009 + 0,003C_{ЭКВ}) \quad (12.19)$$

С учетом реальных данных получены следующие уравнения:

$$\varepsilon_{V_{\Sigma}БЧ} = n_y [6,9 - 0,9C_{ЭКВ,CP} + (0,009 + 0,003C_{ЭКВ,CP}) (T_{ЗАЛ\ MAX} - T_{Л})]; \quad (12.20)$$

$$\varepsilon_{V_{\Sigma}СЧ} = n_y [10,1 - 2,9C_{ЭКВ,CP} + (0,009 + 0,003C_{ЭКВ,CP}) (T_{ЗАЛ\ MAX} - T_{Л})]; \quad (12.21)$$

$$\varepsilon_{V_{\Sigma}ВЧ} = n_y [9,3 - 2,9C_{ЭКВ,CP} + (0,009 + 0,003C_{ЭКВ,CP}) (T_{ЗАЛ\ MAX} - T_{Л})], \quad (12.22)$$

где $\varepsilon_{V_{\Sigma}БЧ}$, $\varepsilon_{V_{\Sigma}СЧ}$, $\varepsilon_{V_{\Sigma}ВЧ}$ – суммарная объемная усадка в жидком состоянии и при затвердевании соответственно белого, серого и высокопрочного чугунов; $C_{ЭКВ\ CP}$ – средний углеродный эквивалент, $C_{ЭКВ,CP} = C + \frac{1}{3}S_i$; $T_{ЗАЛ\ MAX}$, $T_{Л}$ – соответственно максимальная температура заливки и температура ликвидуса чугунов. По данным Гиршовича Н. Г.

$$T_{Л} = 1670 - 124C_{ЭКВ,CP}.$$

Уравнения (12.20)–(12.22) справедливы для поточно-механизированного производства и коэффициента $n_y = 1$. Для автоматизированного производства из-за большей жесткости литейной формы $n_y = 0,8$. Уравнение (12.22) справедливо при $n_y = 1$ и модифицировании магниевой лигатурой ФСМг5 – ФСМг8 в ковше. При модифицировании в литейной форме значения усадки в уравнении (12.22) следует уменьшить в 1,25 раза, т.е. $n_y = 0,8$.

12.5.4. Расчет холодильников

Аналитический расчет наружных холодильников представляет собой трудную задачу. Поэтому рассмотрим приближенный (прикидочный) расчет их массы. Для этого примем допущение, что вся теплота перегрева и теплота затвердевания теплового узла отводится только холодильником (формой отводится значительно меньше).

Составим уравнение теплового баланса

$$c_1 m_0 (T_{ЗАЛ} - T_{Л}) + S_{ЭФ} m_0 = c_X m_X (T_{К,Х} - T_{Н,Х}), \quad (12.23)$$

левая часть которого характеризует теплоту, отдаваемую тепловым узлом, а правая – теплоту, которая нагревает холодильник от начальной $T_{Н,Х}$ до конечной $T_{К,Х}$ температур. Остальные параметры, входящие в уравнение теплового баланса (12.23), означают следующее:

– c_1 , и c_X – теплоемкости теплового узла и холодильника;

- m_0 и m_x – массы теплового узла отливки и холодильника;
- $T_{\text{заль}}$, $T_{\text{л}}$ – соответственно температура заливки и температура ликвидуса материала отливки;
- $S_{\text{эф}}$ — эффективная теплота кристаллизации материала отливки.

Из уравнения (12.23) определяется масса холодильника, а затем его размеры. Можно также воспользоваться рекомендациями, приведенными в табл. 12.8.

Таблица 12.8

Размеры холодильников для некоторых тепловых узлов отливки (рис. 12.2)

Узел	Размеры узла, мм		Размеры холодильника, мм	
	h_y	$D_{\text{в.о}}$	$h_x(d_x)$	b_x
Фланец	Менее 40	—	$(0,5...0,6) h_y$	—
Т-образный	Менее 25	Менее 25	$(0,5...0,8) D_{\text{в.о}}$	—
	Более 25	Более 25	$(0,5...0,8) D_{\text{в.о}}$	—
Т-образный, заохоложенный с двух сторон	Менее 20	Менее 20	$(0,5...0,6) h_y$	—
	Менее 20	Менее 20	$(0,3...0,4) h_y$	—
	Более 20	Более 20	$(0,5...0,6) h_y$	—
	Более 20	Более 20	$(0,3...0,4) h_y$	—
Т-образный, заохоложенный с одной стороны	Менее 20	Менее 20	$(0,5...0,6) h_y$	$(2,5...3) h_y$
	Менее 20	Менее 20	$(0,5...0,6) h_y$	$(2...2,5) h_y$
	Более 20	Более 20	$(0,6...0,8) h_y$	$(2,5...3) h_y$
	Более 30	Более 20	$(0,6...0,8) h_y$	$(2...2,5) h_y$

Определение массы и размеров внутренних цилиндрических и спиральных холодильников описано в подразделе 12.2

ВЫБИВКА ОТЛИВОК ИЗ ФОРМ И СПОСОБЫ ИХ ОЧИСТКИ ОТ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ И ПРИГАРА

Ранее были рассмотрены методы упрочнения литейных форм и стержней перед заливкой в них металла. После охлаждения отливок до заданной температуры, называемой «температурой выбивки», необходимо форму и стержни разрушить, чтобы отделить отливку от формовочной и стержневой смесей. Процесс отделения называют «выбивкой отливок», иногда эту операцию называют «выбивкой форм и стержней».

13. 1. ОХЛАЖДЕНИЕ ОТЛИВОК В ФОРМЕ

После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки.

Чем выше температура выбивки, тем короче технологический цикл изготовления отливки и больше производительность формовочно-заливочного участка. Однако высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения ее качества. Вблизи температуры кристаллизации сплавы имеют низкие прочностные и пластические свойства, поэтому опасность разрушения отливок особенно велика. Кроме того, на воздухе отливки остывают быстрее, чем в форме. При этом неравномерность охлаждения массивных и тонких сечений усиливается и уровень внутренних напряжений в отливке возрастает. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и сохранению в отливке высоких остаточных напряжений.

Длительная выдержка в форме с целью охлаждения до низкой температуры нецелесообразна с экономической точки зрения, так как удлиняет технологический цикл изготовления отливки. Поэтому выбивку стремятся производить при максимально высокой допустимой температуре. Она зависит от природы сплава, а также от конструкции (сложности) отливки. Стальные отливки рекомендуют охлаждать в форме до 500–700 °С, чугунные до 400–500 °С. Сложные отливки, склонные к образованию трещин, охлаждают в форме до 200–300 °С, а отливки, не склонные к образованию трещин, до 800–900 °С. Температура выбивки отливок из бронз составляет 300–500 °С, из алюминиевых и магниевых сплавов соответственно 200–300 и 100–150 °С.

Продолжительность выдержки в форме определяется толщиной стенки отливки, свойствами залитого сплава и литейной формы, темпе-

ратурой выбивки. Она может быть рассчитана или определена экспериментально. В зависимости от природы сплава и конструкции отливки время выдержки в песчаной форме составляет от нескольких минут до суток и даже недель.

Для сокращения продолжительности охлаждения отливок иногда используют методы принудительного охлаждения. Например, формы, залитые на конвейере, охлаждают обдувкой их воздухом в охлаждающих галереях. Остывание крупных отливок интенсифицируют установкой в форму змеевиков или труб, по которым пропускают воздух или воду. В некоторых случаях воздух (газ) пропускают через зазор между отливкой и формой.

Средняя скорость охлаждения отливок в формах колеблется от 2 до 150 °С/мин. Скорость охлаждения выбирают с учетом толщины стенок отливки и прочностных свойств сплава. При большой разнице скоростей охлаждения отдельных частей отливок возникают большие термические напряжения, которые могут привести к короблению отливок или появлению в них трещин. При принудительном охлаждении отливок возможно не только сокращение продолжительности выдержки их в форме, но также выравнивание скоростей охлаждения тонких и массивных узлов и снижение термических напряжений.

Во многих случаях применяют высокотемпературную выбивку с последующим более медленным, чем на воздухе, охлаждением отливок, например, в колодцах, коробах, вместе с комом смеси и т. д.

13.1.1. Определение температуры и времени выдержки отливок в формах и времени их охлаждения после выбивки

Время охлаждения отливки в литейной форме до выбивки является технологическим параметром, который должен быть использован при проектировании технологического процесса и литейного цеха в целом, так как определяет длительность цикла изготовления отливки и производительность цеха. Очевидно, что время охлаждения зависит от назначенной температуры выбивки. При этом имеется в виду температура наиболее горячей части отливки.

В текущем производстве при освоении новой отливки для назначения температуры выбивки обычно используют правило аналогов, т. е. подбирают из производственных данных отливку, похожую на новую, и используют ту же температуру, а точнее то же время охлаждения до выбивки.

Иногда для проверки правильности производственного опыта анализируют рекомендации по температуре выбивки. В рекомендациях температура выбивки, как правило, связывается со сложностью отливки и с тем, как от-

ливка освобождается от формовочной смеси и стержня при выбивке. Простые бесстержневые отливки, которые практически полностью освобождаются от формовочной смеси, рекомендуется выбивать при максимально возможной температуре, на 200... 300 °С меньшей температуры солидуса. При этом скорость охлаждения на воздухе увеличивается, однако к возникновению дополнительных напряжений в отливке, освобожденной от формовочной смеси и стержней, ранняя выбивка не приводит, так как при переносе отливки из одной охлаждающей среды в другую перепады температур в объеме отливки не изменяются. Единственное требование при это сводится к тому, чтобы сохранить отливки неповрежденными.

В отливках, которые неодинаково освобождаются от формовочной смеси и в них остаются стержни, значительно возрастают временные термические напряжения, так как оголенные участки отливок охлаждаются быстрее покрытых формовочной смесью, а стенки, образуемые стержнями, охлаждаются значительно медленнее. Поэтому такие отливки следует выбивать при низкой температуре, чугунные и стальные отливки – при температуре 200... 300 °С. Как правило, такие отливки являются массивными, крупными, и их длительное охлаждение в форме до низких температур может протекать несколько недель.

Для отливок из железных сплавов рекомендуются следующие значения максимально возможной температуры выбивки, °С:

- неотчетственные детали простой конфигурации 600 ... 700;
- небольшие детали простой конфигурации 400 ... 500;
- ответственные крупные отливки высокой сложности 200 ... 300
- для чугунных отливок рекомендации по продолжительности охлаждения до выбивки приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Продолжительность охлаждения отливок из чугуна до выбивки их из форм

Масса отливки, кг	Продолжительность охлаждения, ч	
	на конвейере или рольганге	на полу цеха
До 10	До 0,15	0,5... 1,0
Свыше 10 до 30	0,15...0,40	0,8...2,0
Свыше 30 до 50	0,25...0,50	1,0...3,0
Свыше 50 до 100	0,30...0,60	1,5 ...2,0
Свыше 100 до 250	0,50... 1,00	2,5...6,0
Свыше 250 до 500	0,80...2,00	3,0...8,0
Свыше 500 до 1000	1,50...3,00	4,0... 10,0
Свыше 5000 до 10000	—	55,0... 130,0
Свыше 10000 до 50000	—	80,0... 360,0
Свыше 50 000 до 100000	—	160,0...430,0

Аналогичные рекомендации можно найти по времени выдержки отливок из углеродистой стали (табл. 13.2).

Таблица 13.2

Продолжительность охлаждения отливок из углеродистой стали до выбивки их из форм

Размер опок в свету, мм	Максимальная масса отливки, кг	Температура выбивки отливок из формы, °С	Продолжительность охлаждения отливки в форме, ч, при толщине стенки отливки, мм		
			до 20	свыше 20 до 50	свыше 50
500х400 (без опок)	До 10	700... 600	0,17...0,27	0,35...0,50	0,45... 0,70
500х400	До 20	700... 600	0,23... 0,35	0,42... 0,63	0,57... 0,85
800х700	100	700... 600	0,50... 0,75	0,50... 1,40	1,20... 1,80
1000х800	150	700... 600	0,65... 0,90	1,20... 1,80	1,40... 2,25
1200х1000	250	650... 550	1,00... 1,60	1,90...2,90	2,40... 3,70
1400х1000	500	650... 550	1,40... 2,20	2,40...4,00	3,40... 5,30
1600х1200	1000	600... 550	—	4,60... 6,00	6,20... 7,50
2000х1600	1000	600... 550	—	4,60... 6,00	6,20... 7,50
2500х1600	1500	600... 550	—	5,40... 7,00	7,20... 8,80
2500х2000	2000	550... 500	—	8,00... 11,00	10,00... 13,00

Учитывая неопределенность условий освобождения отливки от смеси, оптимальную температуру выбивки в настоящее время рассчитать не представляется возможным, поэтому нужно руководствоваться рекомендациями и производственным опытом.

Если имеются аналоги или рекомендации по определению времени выбивки, то необходимо пользоваться ими. Для приближенных оценок Б. В. Кнорре предложил использовать эмпирическое уравнение продолжительности охлаждения чугуновых станочных отливок до температуры 200 °С

$$\tau = a\sqrt{m}, \quad (13.1)$$

где τ – продолжительность охлаждения, ч; a – коэффициент, зависящий от толщины стенки и сложности (класса) и определяемой по табл. 13.3; m – масса отливки, т.

К классу 1 относятся отливки типа плит, к классу 2 – отливки со стержнями, охлаждающимися преимущественно с одной стороны, к классу 3 – сложные отливки с большим числом стержней.

Некоторая неопределенность рекомендаций и их противоречивость

связаны с тем, что приведенные данные получены для разных конкретных условий и зависят от номенклатуры отливок.

Таблица 13.3

Значения коэффициента a^* при определении продолжительности охлаждения отливок

Толщина стенки, мм	Класс отливки		
	1	2	3
Свыше 20 до 30	15	20	27
Свыше 31 до 50	20	27	36
Свыше 51 до 80	27	36	47
Свыше 81 до 125	36	47	60
Свыше 126 до 200	47	60	75
Свыше 200	60	75	92

* Эмпирический (основанный на опыте) коэффициент в уравнении Б.В.Кнорре.

По требованиям техники безопасности на финишных операциях (например, при выбивке стержней, зачистке) температура отливки не должна превышать 50 °С. Поэтому выбитая отливка должна назначенное время охлаждаться на воздухе, находясь на участках выбивки стержней (крупные отливки) или в охлаждающих галереях на подвесных конвейерах (мелкие массовые отливки).

Рассчитать продолжительность охлаждения выбитой отливки также невозможно, поэтому ее определяют (назначают) по имеющимся рекомендациям или исходя из опыта. Так, в табл. 13.4 приведены значения продолжительности охлаждения выбитой чугуновой отливки в зависимости от массы, температуры выбивки и наличия стержней.

Таблица 13.4

Продолжительность охлаждения выбитой отливки

Масса отливки, кг	Температура отливки при выбивке, °С	Продолжительность охлаждения до 50 °С, ч, отливки	
		без стержней	со стержнями
До 8	600	1,0	2,5
Свыше 8 до 20	600	1,2	3,0
Свыше 20 до 50	600	1,5	4,0
Свыше 50 до 100	600	2,0	5,0
Свыше 100 до 250	500	3,0	7,0
Свыше 250 до 500	500	4,0	8,0
Свыше 500 до 1000	400... 500	—	12,0... 18,0
Свыше 1000 до 2000	300... 400	—	18,0...24,0

13.2. ЭТАПЫ ВЫБИВКИ ОТЛИВОК ИЗ ФОРМ

Процесс выбивки отливок из литейных форм, который называют также «выбивкой литейных форм», сопровождается большим выделением пыли, газов и теплоты. В современных литейных цехах операции выбивки отливок и стержней из них механизмируют, а по возможности и автоматизируют, т.е. используют установки, работающие без непосредственного участия рабочих. Процесс выбивки отливок из сырых песчано-глинистых форм можно усматривать состоящим из двух этапов. На первом этапе производится извлечение отливок вместе со смесью из опоки. На втором этапе отливку отделяют от смеси. Отделенную отработанную смесь направляют на переработку, а отливки – на финишные операции. При выбивке отливок безопочных форм первый этап отсутствует.

Существуют пять методов разрушения опочных форм и удаления отливок из них: вибрационный, инерционный, прошивание механическое, прошивание с помощью воздуха, вакуумное прошивание.

13.2.1. Вибрационная выбивка

При вибрационной выбивке отливок из литейных форм тем или иным способом сообщают колебательные движения стенкам опоки и ее крестовинам, что приводит к разрушению формы и выбивке отливок.

К устройствам для вибрационной выбивки относятся подвесной вибратор, который подвешивается на стенку опоки, и вибрационная траверса. Подвесной вибратор приводит в колебание стенку опоки, это колебание разрушает силовые связи, в основном, в пристенных слоях набивки, так что смесь вместе с отливкой вываливается из опоки. Вибраторы применяют для разных по толщине стенок опок и разных форм. Существуют полученные по практическим данным рекомендации для подбора параметров вибратора в зависимости от размеров опок и характера выбиваемой формы.

Вибрационная траверса состоит из коромысла и двух подвесок с крюками. В подвесках расположены вибраторы. Подвески могут перемещаться относительно коромысла в зависимости от размера опоки, для чего на коромысле имеются выемки, в которых фиксируются скобы подвесок. При выбивке траверсу подвешивают на крюк подъемника или крана. После подъема формы над полом включают вибраторы, что и приводит к разрушению связи между опокой и набивкой. Вибраторы работают от цеховой сети сжатого воздуха.

Затраты энергии при вибрационном методе выбивки в 8–9 раз больше, чем при выбивке другими методами. Поэтому в настоящее вре-

мя этот метод используют редко, в малых литейных цехах, где применяются опоки разных размеров.

13.2.2. Инерционная выбивка

Инерционная выбивка отливок осуществляется на решетках или рамах, которые приводятся в колебательное движение с помощью привода.

В решетке установлены пересекающиеся или параллельные ребра. Зазоры между ребрами или размеры ячеек решетки меньше размеров отливки, поэтому, кроме разрушения набивки, решетка отделяет отливку от смеси. Смесь проваливается сквозь решетку, а отливка остается на ее полотне.

В раме имеется окно, размеры которого равны размерам опоки в свету, что обеспечивает беспрепятственное выпадение разрушающейся набивки вместе с отливкой из опок. Если на одной и той же решетке можно выбивать разные по размерам формы, размер которых не превышает размер решетки в плане, то на раме можно выбивать формы одного определенного размера. Поскольку ребра решетки являются дополнительными опорами для набивки, время, затрачиваемое на выбивку формы на решетке, в несколько раз больше времени выбивки той же формы на раме. Поэтому рамы применяют в выбивных устройствах, работающих на литейных конвейерных линиях.

Решетки и рамы различаются по типу привода. Для них применяются эксцентриковый и инерционный приводы.

Эксцентриковый и инерционный приводы являются приводами механического типа. Решетка с эксцентриковым приводом опирается краями полотна на резиновые или пружинные опоры (рис. 13.1, а). На продольных крайних брусках полотна решетки, в их середине закреплены две подшипниковые опоры, в которых находятся эксцентриковые шейки приводного вала. Сам вал закреплен в опорах, установленных на станине. Эксцентриситет вала и опорных шеек 2...3 мм. При работе середина решетки перемещается по окружности, центр которой совпадает с осью вращения вала привода. При этом полотно решетки перемещается по закону синусоиды. Инерционные силы, возникающие в системе форма–решетка при работе, передаются через вал на его опоры, создавая тяжелые условия для работы подшипников и вызывая их относительно быстрый износ. Также в тяжелых условиях работают и подшипники, в которых вращаются эксцентрики.

Выбивные решетки с инерционным приводом показаны на рис. 13.1, б, в. В этом случае решетка (рама) 2 опирается на амортизаторы – пружины 3 и совершает колебания под воздействием сил, генерируемых в системе.

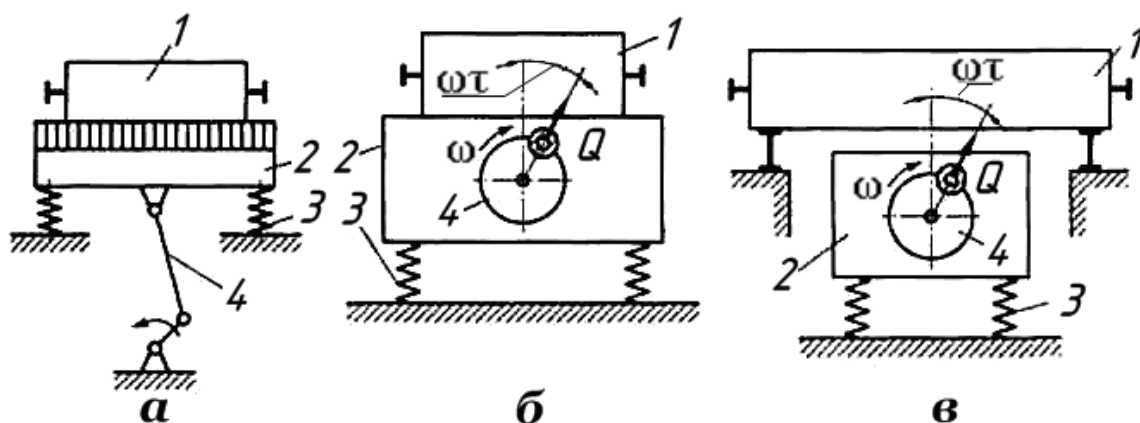


Рис. 13.1. Типы механических выбивных решеток: а – эксцентриковая; б – инерционная; в – ударная инерционная; 1 – выбиваемая форма; 2 – решетка; 3 – опорная пружина; 4 – привод; Q – вес опок с отливками; ω – угловая скорость; ωt – угол поворота вала

К наружным брускам полотна решетки крепятся подшипниковые опоры, в которых закреплен вал. Вал не имеет внешних опор и приводится во вращение с помощью клиноременной передачи от электродвигателя, установленного на станине машины. На валу закреплен груз, центр тяжести которого смещен относительно оси вращения вала. При вращении вала груз создает возмущающую силу, которая имеет не только вертикальную, но и горизонтальную составляющие. По двум существующим в настоящее время схемам либо решетки снабжаются амортизаторами, гасящими их колебания в горизонтальной плоскости, либо на полотне решетки устанавливаются два вала с одинаковыми грузами, которые вращаются в разные стороны синхронно. Возмущающие силы обоих грузов (или их составляющие) в вертикальной плоскости при этом складываются, а в горизонтальной – взаимно уравновешиваются.

Колебательное движение решетки с подбрасываемой формой (рис. 13.1, б) при наличии амортизатора является сложным, поэтому настройка инерционных решеток на оптимальные режимы выбивки затруднена. В настоящее время отечественные заводы выпускают инерционные решетки грузоподъемностью от 1 до 20 т. При этом большие решетки требуют большой мощности электропривода, например решетка грузоподъемностью 20 т имеет двигатель мощностью 60 кВт и, следовательно, высокий расход электроэнергии.

13.2.3. Выбивка методом прошивания

В рассмотренных выше методах выбивки разные по состоянию

формы (залитые или незалитые) разрушаются неодинаково, а для поточных и автоматических линий чаще всего требуется согласование по времени операций, выполняемых на разных узлах.

Поэтому для форм без крестовин в нижней опоке в настоящее время применяется выдавливание (прошивание) набивки 4 из опок плоской плитой 2 и пневматическими или гидравлическими цилиндрами 1 (рис. 13.2). Для очистки стенок опок от смеси плита 2 прошивного механизма по контуру облицовывается резиной 3.

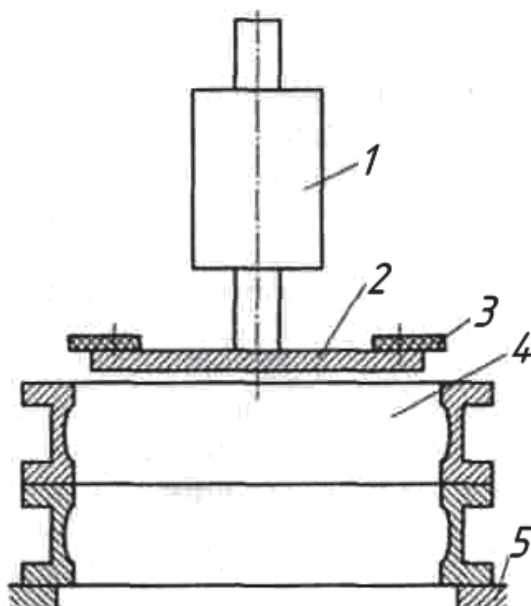


Рис. 13.2. Прошивное механическое устройство: 1 — цилиндр; 2 — прошивная плита; 3 — резиновая чистящая облицовка; 4 — набивка формы; 5 — ролик

При наличии в верхней опоке крестовин прошивание ведется плоской плитой с башмаками, закрепленными на этой плите. В этом случае крестовины попадают в зазоры между башмаками и не мешают прошивке. Иногда прошивку плоской плитой формы в опоках без крестовин проводят со стороны контрлада нижней полуформы. Форма из опок поднимается и сдвигается с плиты на охлаждающий «склиз», на котором отливки в формах охлаждаются без опок, т.е. число необходимых опок уменьшается. Прошивная плита после прошивки уходит вниз, а опоки подаются на возвратную систему формовочной линии. Необходимое давление на поверхность контрлада формы при прошивании составляет $0,13...0,18 \text{ Н/мм}^2$. В настоящее время предложены импульсный и вакуумный методы прошивания форм с помощью воздуха. При импульсном прошивании форма устанавливается на раму и прижимается к импульсной головке. В ресивере импульсной головки находится сжатый

воздух. В момент подачи импульса в полость над смесью воздух давит на смесь, подобно прошивной плите, и одновременно фильтруется через нее, способствуя разрушению набивки.

На той высоте, где давление равно атмосферному, действует напряжение, передаваемое сюда по скелету смеси. Таким образом, нижележащие слои смеси будут выдавливаться под действием этого напряжения, как при механическом прошивании. При вакуумном прошивании форма устанавливается на короб, соединенный быстродействующим клапаном с ресивером, в котором с помощью вакуумного насоса создано давление 0,03... 0,04 МПа. Клапан открывается (скорость открытия клапана такая же, как в импульсной машине) и в набивке возникает фильтрующийся через смесь поток воздуха, который в нижней части формы создает растягивающие напряжения в слоях смеси. В том слое, где растягивающие напряжения окажутся выше прочности смеси, произойдет отрыв смеси от формы и разрушение слоя. Этот слой начнет двигаться вниз, затем произойдет отрыв следующего слоя. Так последовательно разваливается вся форма. Для вакуумного прошивания требуются гораздо меньшие затраты энергии, чем для импульсного. Экологически он также лучше.

13.2.4. Разделение смеси и отливки

Все устройства, работающие по методу прошивания, выдавливают отливку вместе со смесью, поэтому используются специальные устройства, называемые «разделителями». Самостоятельно разделители могут устанавливаться для выбивки безопочных форм. Особенность работы разделителя в том, что продолжительность разделения не связана жестко со временем работы других механизмов линии. Кроме того, разделитель может быть расположен отдельно от выбивного устройства и соединен с ним транспортной системой. Применяемые устройства для разделения смеси и отливки бывают двух типов – решеточного и барабанного.

Решеточные разделители смеси и отливки по принципу действия не отличаются от решеток, разрушающих форму. Все они являются решетками инерционного типа, но в зависимости от функций имеют конструктивные особенности. Разделитель, не выполняющий транспортных функций, расположен горизонтально. Отливка остается на месте, и после разделения со смесью удаляется с разделителя подъемником.

Для выполнения транспортных функций полотну решетки придают наклон, обычно 9... 11°. Длина решеток-разделителей достигает в некоторых случаях 6 м. Для лучшего разделения смеси используют двухступенчатые разделители – две решетки устанавливают последо-

вательно, причем на первой ступени отделяется основная масса формовочной смеси, на второй – «шуба» физического пригара. Такое решение приводит к увеличению продолжительности разделения и в какой-то степени позволяет отделить пригар от потока оборотной смеси, направив его в отвал.

При отсутствии возможности установить два разделителя, если на одном «шуба» пригара плохо отделяется от отливок, иногда применяют установку, на которой сила, подбрасывающая отливку над решеткой, заставляет ее совершать скачки «в гору», что достигается использованием вращения вала с дебалансом. Отливка за время свободного полета проходит меньший путь относительно полотна решетки и время нахождения ее на разделителе увеличивается. Полотно разделительной решетки делают только из продольных брусьев, иначе отливки могут зацепляться за поперечины. Расстояние между брусьями 25...60 мм. Нижняя часть решетки-разделителя наклонного типа имеет короб-поддон, по которому смесь движется к окну в его дне и далее падает на конвейер, идущий в смесеприготовительное отделение.

Последние 10–15 лет получили распространение разделители барабанного типа. Барабан изготовлен из отдельных уголков, параллельных оси и установленных с зазорами, или из перфорированного стального листа. Барабан устанавливают на опорные приводные ролики, закрепленные на наружной (сплошной) обечайке. Привод осуществляется через зубчатый венец. Ось барабана наклонена под углом до 7° к горизонту. При вращении барабана внутри него происходит движение набивки или безопочной формы. В процессе движения набивка или безопочные формы поднимаются на некоторую высоту и, падая, разрушаются. Освободившиеся отливки совершают те же движения, но при очередном падении разбивают комья смеси и при соударениях очищаются от «шубы» пригара. Для увеличения продолжительности пребывания отливок в барабане на внутренней его поверхности устанавливают стальные винтовые полосы высотой до 50 мм, которые поднимают отливки и смесь на большую высоту по стенке барабана.

В последнее время рекламируют барабаны, в которые вода может подаваться мелкими струйками. Дозирование воды связано температурой смеси, поступающей в барабан. Барабан дает возможность охладить отработанную смесь, а также ускорить охлаждение отливок. Длина такого барабана достигает 20 м, диаметр 2... 2,5 м

При выбивке безопочных форм, изготовленных с использованием особо прочных смесей (например, с применением химических методов упрочнения), перед разделителем ставят устройство, раздавливающее форму с помощью гидравлических цилиндров.

13.3. УДАЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ОТЛИВОК

Большинство стержней из мелких и средних отливок во время их обработки на решетках и разделителях. Для крупных и сложных отливок применяют специальные устройства.

Для удаления стержней из отливок их следует предварительно разрушить внутри отливки. Процесс разрушения стержней, если они не разрушились от теплового воздействия во время охлаждения отливки, проводится с применением пневматических вибрационных машин, гидравлических и пескогидравлических установок, дробеметных устройств и электрогидравлических установок и вручную при помощи вибромолотка.

13.3.1. Пневматическое вибрационное удаление стержней

Пневматическая вибрационная машина показана на рис. 13.3.

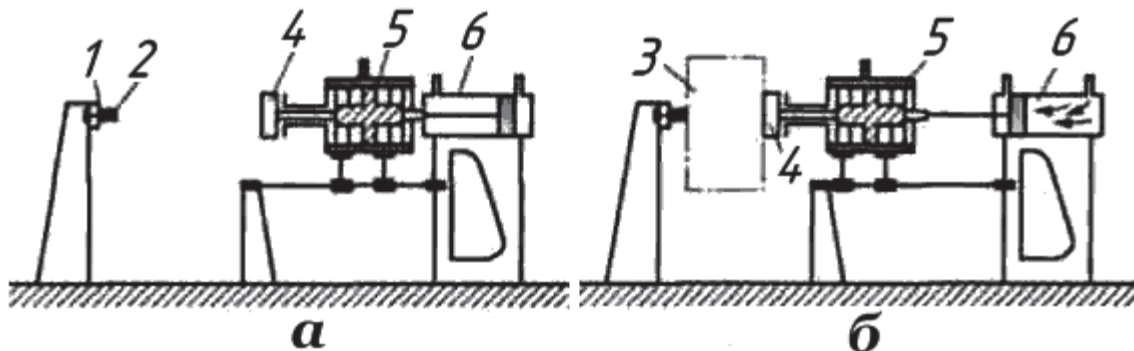


Рис. 13.3. Пневматическая вибрационная машина для выбивки стержней в состоянии покоя (а) и в момент выбивки (б): 1 – пружина щеки; 2 – неподвижная щека тисков; 3 – отливка; 4 – подвижная щека тисков; 5 – пневматический вибратор; 6 – пневматический толкатель для зажима отливки в тисках

После помещения отливки в тиски включают вибратор, разрушающий стержень. Вибрационные машины применяют главным образом в крупносерийном производстве (блоки цилиндров автомобильных двигателей, картеры коробок передач и т.п.). Их устанавливают обычно в конце галереи охлаждения отливок. Работа машин сопряжена с большим шумом и значительным выделением пыли, поэтому их располагают в специальном помещении вне цеха.

13.3.2. Водоструйная очистка

Водоструйный способ удаления стержней из отливок (гидроочистка) полностью отвечает современным санитарно-гигиеническим требованиям. С экономической точки зрения этот способ оправдан в тех случаях, когда

водоструйная установка может быть использована на полную производительность. Как правило, этого можно достигнуть в литейных цехах с годовым выпуском более 20 тыс. т отливок.

Современные водоструйные установки с давлением воды в пределах от 10 до 20 МПа применяются для обработки отливок из чугуна и стали весом от 10 кг до 200 т и габаритными размерами отливок – от 0,2 до 10 м; отношение веса стержней к весу отливки – от 0,5 до 1,5. В зависимости от веса отливок и серийности производства эти камеры имеют самое разнообразное конструктивное исполнение. Эффективность воздействия воды на стержень может быть повышена путем добавления в струю воды высокого давления частиц абразива, в частности кварцевого песка.

Величина давлений воды от 10 МПа и выше определяет параметры и ряд конструктивных элементов оборудования для очистки отливок, как например, стационарные мониторы, закрытые камеры, наличие обязательных блокировок и т. д.

Современная водоструйная установка – это сложный комплекс различного оборудования, связанного системой автоматики и блокировок. В общем виде схема такой установки показана на рис. 13.4.

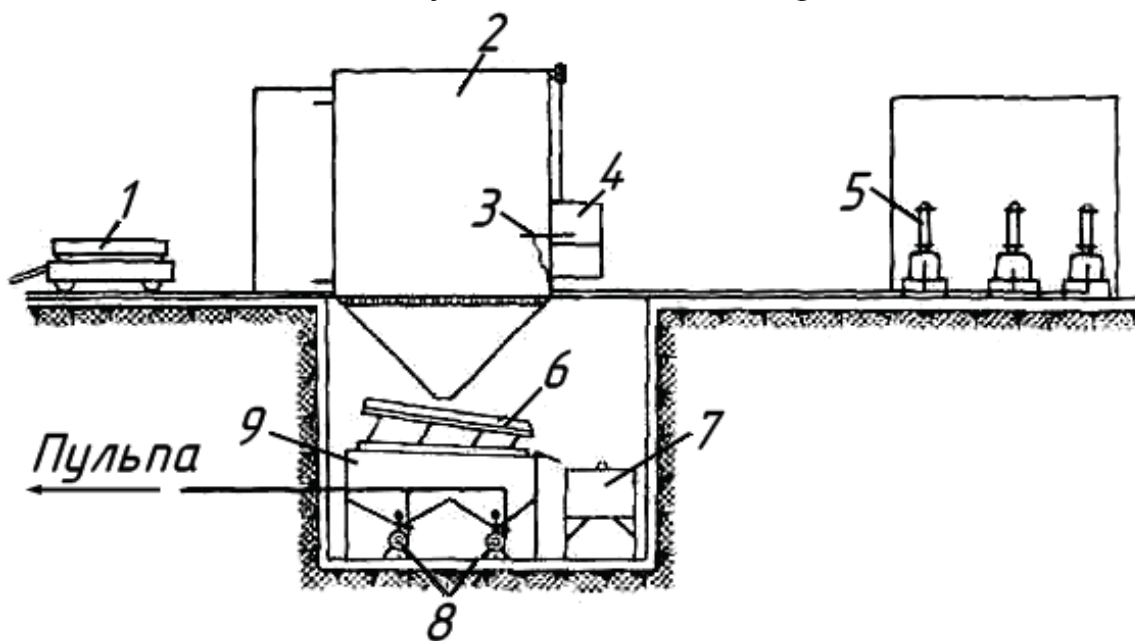


Рис. 13.4. Схема водоструйной установки

Отливки, загружаемые и выгружаемые вне камеры, устанавливаются на самоходную тележку с поворотным столом 1. Тележка закатывается в рабочее пространство камеры 2. После закрытия ворот камеры из насосной станции высокого давления 5 к монитору 3 под высоким давлением подается вода. Рабочий, находясь в кабине 4, производит обра-

ботку отливки, управляя всеми механизмами с пульта управления. Удаленные из отливок куски стержней и вода поступают на грохот 6. Песок и вода, прошедшие сквозь решетки грохота, собираются в сливную ванну 9 и с помощью насосной станции низкого давления 8 транспортируются на первичную переработку в установку регенерации песка и обратного водоснабжения, в которой производится очистка воды для повторного использования.

Крупные куски стержней, металл и другие инородные частицы попадают в сборник отходов 7 и периодически транспортируются в отвал.

Насосная станция высокого давления 5 оборудуется двумя–пятью насосами производительностью 15–18 м³/ч каждый. Вода под высоким давлением подается в коллектор и оттуда к мониторам, количество которых обычно равно или несколько меньше количества насосов.

Производительность современных водоструйных установок составляет 3–20 т/ч. Установки производительностью менее 3 т/ч в настоящее время не выпускаются.

Водоструйные установки могут быть периодического и непрерывного действия. В установках периодического действия процесс удаления стержней из отливок производится периодически. В момент загрузки и выгрузки отливок из рабочего пространства процесс прерывается.

В установках непрерывного действия процесс удаления стержней из отливок не прерывается, и обработка отливок струей воды высокого давления ведется непрерывно. К ним относятся конвейерные и «роторные» водоструйные установки.

Наибольшее применение имеют водоструйные установки периодического действия, так как они ближе соответствуют условиям мелкосерийного и индивидуального производства. Установки непрерывного действия появились позже и применяются в основном при серийном и массовом производстве.

В установках периодического действия камеры по конструкции корпуса разделяются на одинарные (3 х 3; 4 х 4; 5 х 5 и т. д.) и секционные (6 х 4; 12 х 6 и т. д.). Последние имеют перегородки и работают как две. При необходимости перегородка убирается, и отливка занимает все рабочее пространство камеры.

Большое количество существующих камер выполнено одинарными с разной длиной и шириной стен (3 х 4; 8 х 5; 10 х 6 и т. д.).

Корпус камеры изготавливают из металла или железобетона. Перекрытие у камер может быть закрытое, накатное и закрывающееся. Ворота в камерах выполняются с одной, с двух противоположных или смежных сторон, а также с трех сторон. Ворота открываются с помощью

электрического, пневматического или гидравлического привода. Рабочие площадки для рабочих выполняют стационарными, типа настила, или подвижными. В последнем случае рабочий помещается в открытой или закрытой кабине и вместе с монитором может двигаться в горизонтальном или вертикальном направлении.

По виду транспортных устройств камеры разделяются на следующие виды.

1. Камеры со стационарными столами. Отливку в рабочее пространство такой камеры транспортируют краном.

2. Камеры, обслуживаемые несамходными и самоходными тележками с механизмами для вращения отливок и без них. В последнем случае камеры оборудованы поворотными кругами на уровне пола, грузоподъемность столов и тележек составляет 3–450 т.

3. Камеры, обслуживаемые кантовальной машиной.

4. Камеры, обслуживаемые только краном. Отливка в этом случае транспортируется в рабочее пространство камеры и укладывается непосредственно на решетки пола. Камера может обслуживаться одним или несколькими транспортными устройствами.

Мониторы по конструкции разделяются на стационарные, имеющие только объемный угол поворота и движение вперед–назад, и подвижные, имеющие дополнительные движения вверх–вниз, влево–вправо относительно отливки. Мониторы устанавливаются на шаровой или гироскопической опоре и управляются вручную или посредством электрического или гидравлического привода. Количество мониторов, устанавливаемых в камере, различно: от одного до десяти и более.

Под полом камеры, выполняемым в виде решетки, располагается металлический или железобетонный бункер. Под бункером размещается грохот и сливная емкость, из которой транспортировка пульпы производится песковыми насосами. Куски стержней и металл с грохота поступают на ленточный конвейер. Металл отделяется магнитным шкивом ленточного конвейера или магнитным сепаратором, установленным над конвейером, а отходы стержней поступают в отвал. В бункере производится перемешивание пульпы гидравлическим путем – с помощью пескового насоса, воздушным – с помощью сжатого воздуха или механическим – с помощью механических мешалок.

В других конструкциях пульпу транспортируют из бункера камеры с помощью гидроэлеваторов в промежуточную емкость, над которой установлен грохот. Из промежуточной емкости пульпа песковыми насосами транспортируется на дальнейшую переработку. Перемешивание в бункере осуществляется с помощью сжатого воздуха, реже для этих це-

лей применяют механические лопастные мешалки.

Одним из способов повышения эффективности водоструйной обработки отливок является введение в струю воды высокого давления частиц абразива. Наиболее перспективным представляется применение для этой цели песка из регенерируемой смеси, так как, в отличие от других абразивов, он не засоряет оборотную смесь. С введением абразива в струю воды режущие свойства ее резко возрастают: при содержании 8–10 % песка по объему они увеличиваются в 10–12 раз. Разрушающие же свойства водопесчаной струи мало зависят от зернистости песка.

Струя воды с песком, наряду с удалением стержней, производит очистку поверхности отливок. Так как явление наклепа при этом отсутствует, то появляется возможность обнаруживать после обработки малейшие дефекты поверхностей отливок. Сокращается расход инструмента на обработку поверхности отливок. Кроме того, частицы песка, ударяясь о поверхность отливки, освобождаются от пленки связующего, т. е. подвергаются частичной регенерации. Все это указывает на несомненные преимущества водопескоструйной обработки отливок по сравнению с водоструйной.

13.3.3. Электрогидравлическая очистка и выбивка стержней.

Электрогидравлическая очистка основана на использовании высоковольтного электрического разряда между двумя электродами в воде по схеме, приведенной на рис. 13.5, *а*.

Высоковольтный (30 кВ) выпрямитель заряжает конденсатор, который разряжается между электродом и отливкой (прямой метод воздействия, рис. 13.5, *б*) или между двумя электродами (косвенный метод, рис. 13.5, *в*) в водяной ванне.

В месте разряда образуются пузырьки водяного пара с очень высоким давлением (до 15 ГПа), возбуждающие взрывную волну, которая распространяется со сверхзвуковой скоростью. При прохождении волны в отливке в пригаре и стержнях возникают упругие колебания. Вследствие разности модулей упругости и частот собственных колебаний отливки, пригара и стержня происходит разрушение их на границе с металлом отливки. Интенсивное перемещение жидкости в зоне разряда обеспечивает эффективное удаление материала стержня из отливки. Образующийся на дне ванны шлам удаляется с помощью шламового насоса. Наличие рефлектора на конце электрода (рис. 13.5, *б*) усиливает эффект очистки. Косвенный метод воздействия разряда рекомендуется для очень тонкостенного литья.

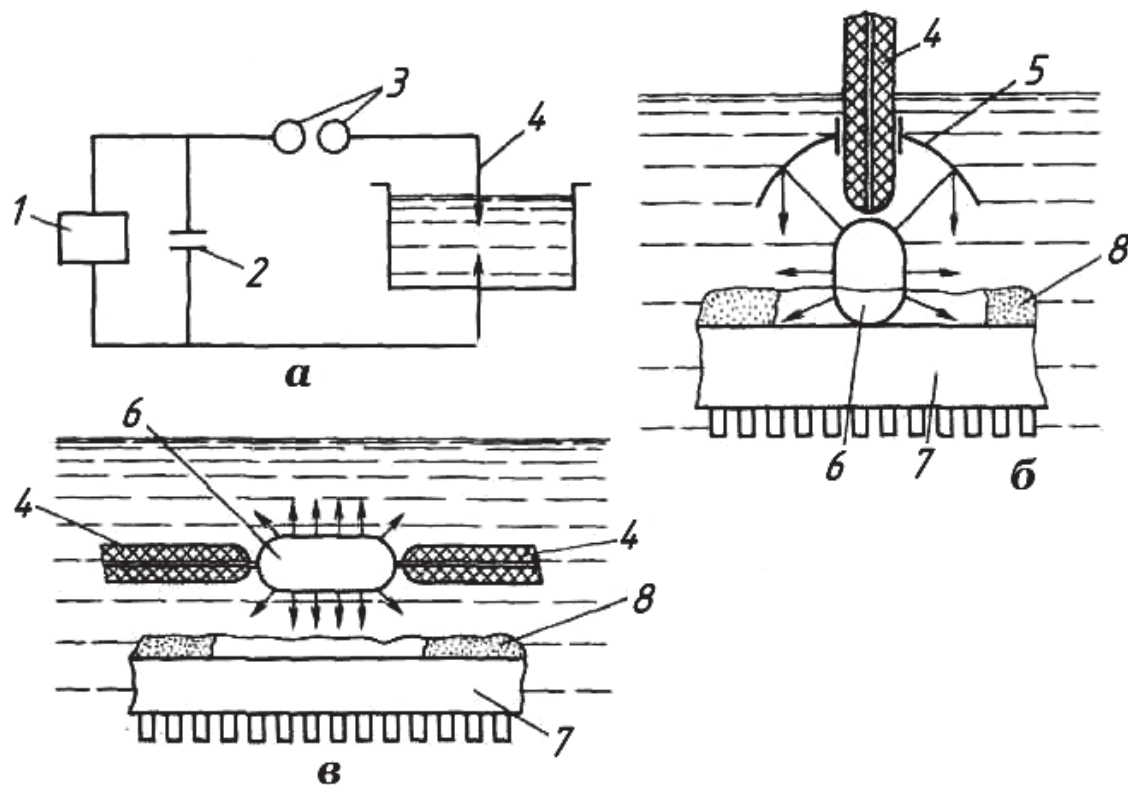


Рис. 13.5. Принцип действия (а) и характер рабочего процесса при прямом (б) и косвенном (в) воздействии разряда на отливку: 1 – высоковольтный выпрямитель; 2 – конденсатор; 3 – воздушный промежуток; 4 – электроды; 5 рефлексор; 6 – пузырек водяного пара; 7 – отливка; 8 – корка пригара

Установка дает от 1 до 10 разрядов в секунду. Число разрядов, необходимых для разрушения стержней, в зависимости от габаритов отливки находится в интервале от 200 до 1000.

По опытным данным, расход энергии на очистку составляет около 10 кВт/ч на 1 т стального литья.

Электрогидравлические установки применяют для выбивки стержней из стальных, чугунных отливок и отливок из цветных сплавов.

Эти установки используются в единичном, мелкосерийном и серийном производстве. Наиболее целесообразно их применение для выбивки стержней из крупных и средних отливок.

Преимущества этого способа выбивки следующие:

- обеспечивается высокая производительность и эффективность;
- исключается тяжелый ручной труд;
- снижается запыленность воздуха в литейных цехах.

13.3.4 Удаление каркасов стержней

Удаление каркасов стержней является частью процесса предварительной очистки поверхности отливки и состоит из следующих основных операций: а) разрушение и удаление формовочных материалов, окружающих каркасы; б) отрезка и удаление заливов, мешающих свободному доступу к каркасам; в) расчленение каркаса на части, если он не может быть извлечен целым; г) извлечение каркасов и их частей из внутренних полостей отливки при помощи кранов, магнитной шайбы или вручную.

Способ удаления каркасов зависит от их конструкции. При выборе способа удаления каркаса учитывается возможность повторного его использования. В этом отношении наибольшими преимуществами обладает гидравлический способ очистки.

Наибольшую сложность представляет удаление каркасов пространственной конструкции, располагаемых во внутренних труднодоступных полостях отливок. При очистке таких полостей пневматическим зубилом удаляют каркасы по частям. Литые каркасы, которые не могут быть извлечены из внутренних полостей отливки без предварительного расчленения на части, следует делать стальными.

13.4. МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ОТ ОТЛИВОК

Для отделения литниковых систем от отливок используют разные методы в зависимости от материала отливок, их массы и вида производства. Наиболее легко отделяются литники от отливок из серого и ковкого чугуна. Так как это хрупкие металлы, литники могут отделяться как сами в процессе выбивки, так и под ударами молотка при ручной очистке. Операция может проводиться на выбивных устройствах, непосредственно около них или перед началом первых операций очистки. Для отделения литников стальных отливок и отливок из цветных сплавов применяют эксцентриковые пресс-кусачки с приспособлением для укладки отливок, а также ленточные (для цветного литья) и круглые пилы. Кроме круглых пил используют беззубые дисковые пилы. Такая пила представляет собой тонкий стальной диск диаметром 500... 1500 мм. Диск вращается с окружной скоростью на внешнем диаметре 100... 120 м/с. На торцевой поверхности диска могут быть выступы высотой 2...3 мм. При прижиге диска к литнику вследствие трения выделяется большое количество теплоты. Нагретый материал отливки становится пластичным и прорезается диском, сам же диск нагревается до опасных температур. Преимущество дисков пилы – высо-

кая производительность и нечувствительность к наличию на поверхности отливки пригара, от которого страдают ленточные и круглые пилы. Недостаток – сравнительно небольшая глубина реза. Отношение наибольшего диаметра отрезаемого изделия (глубина реза) к диаметру диска не превышает 6... 8 %, в то время как для круглых пил оно составляет 30...35 %.

В крупносерийном производстве для отделения литника иногда используют продавливание отливок через фильеру определенной конфигурации с помощью гидравлического пресса. Например, этот метод широко используется при литье в вертикальные стопочные формы и литье по выплавляемым моделям.

Последние годы для отделения литников стали применять клин с гидравлическим приводом. Устройство имеет коробчатый корпус, на основании которого закреплен гидравлический цилиндр. На штоке цилиндра установлен клин, находящийся между пластинами. Устройство закладывается между стояком и отливкой или прибылью и отливкой, и при перемещении клина между пластинами происходит отлом литника от отливки. Устройство может применяться для работы с толстостенными отливками.

В единичном, мелкосерийном и серийном производстве стальных отливок, и при производстве крупных стальных отливок литники и прибыли отделяют кислородно-газовой резкой. Процесс основан на сжигании нагретого металла в струе кислорода и удалении оксидов, образующихся в месте реза. В качестве горючих материалов при газовой резке в основном применяют ацетилен, природный газ, керосин.

Дуговую резку используют для отделения литников и прибылей от отливок из жаростойкой и кислотостойкой стали, не поддающейся обычной газовой резке. Поверхность резания получается грубой и требует дополнительной обработки.

13.5. ОЧИСТКА ОТЛИВОК ОТ ПРИГАРА И МЕЛКИХ ЗАЛИВОВ

13.5.1. Классификация и выбор способа очистки отливок

Очистные операции отливок являются наиболее трудоемкими и составляют до 40 % от общих затрат труда на изготовление отливок, причем при очистке применяется наибольшее количество ручных операций и тяжелого физического труда. Условия труда на участках очистки тяжелые и вредные. Поэтому улучшение условий и увеличение производительности труда взаимосвязаны между собой и могут осуществляться только при повышении уровня механизации процессов очистки. Существующее мнение, что очистка отливок не является неотъемлемой частью литейного произ-

водства, так как за счет улучшения процессов формообразования можно добиться постепенного можно от очистки избавиться, но это является прогнозом на далекое будущее. Поэтому к работе над совершенствованием процессов очистки отливок необходимо относиться с большим вниманием.

Под очисткой отливок следует понимать весь цикл операций, которым подвергается отливка: от выбивки из опоки до передачи ее на обдирку и окраску, т. е. удаление стержней, очистка внешних и внутренних поверхностей от остатков формовочной смеси и пригара, удаление облоев, литников, остатков литников и различных поверхностных дефектов, заварка дефектов.

Качество литой поверхности, определяемое степенью шероховатости, наличием пригара и различными местными дефектами, в зависимости от величины неровностей характеризуется классами чистоты поверхности (ГОСТ 2789). С помощью существующих способов очистки неровности сглаживаются и частично удаляются.

Наиболее распространенным дефектом литой поверхности является пригар – слой формовочной смеси, прочно соединенный с поверхностью отливки. К местным дефектам поверхности отливок относятся засоры, ужимины, спаи, плены, поверхностные газовые и шлаковые раковины и заливы. Большинство дефектов определяется качеством формы, а такие, как плены, – составом металла и температурой заливки. Все местные дефекты подлежат устранению при очистке отливки.

Классификация наиболее распространенных способов очистки отливок приведена в табл. 13.5.

Таблица 13.5

Классификация способов очистки отливок

Обрабатываемая поверхность	Способ обработки	Инструмент или метод обработки
Местная	Ручная	Щетки Пневмозубила Абразивные круги
	Струйная	Водо- и водопескоструйная Гидроабразивная Дробеметная и дробеструйная Огневая
	Трением	Абразивные и металлические круги В галтовочных барабанах В виброочистных установках
Общая	Химическая	Электрохимическая Химическая

Под ручной очисткой, составляющей более 50 % от общего количества очистных работ в литейном производстве, подразумевается проведение любых очистных операций (удаление стержней, очистка поверхности, удаление литников и заливов, зачистка остатков литников) с помощью ручного, пневмо- и электроинструмента.

Ручная очистка еще длительное время, особенно для категории обрубных операций, сохранит свое значение. Для литейных цехов малой мощности и для мелкосерийного производства современное очистное оборудование (водоструйные и дробеструйные установки и т. д.) зачастую нерентабельно. Поэтому на конструкцию и производительность ручного очистного инструмента равно, как и на организацию рабочего места обрубщика, должно быть обращено серьезное внимание.

Рациональная организация рабочего места обрубщика позволяет повысить производительность труда с одновременным улучшением санитарно-гигиенических условий. Рабочее место должно быть вписано в поток с последовательной передачей отливки по рабочим местам для выполнения отдельных технологических операций.

На рабочем месте обрубщика должны находиться столы и стенды, защитные сетки, местные транспортные средства и набор необходимого инструмента и приспособлений. Кроме того, рабочее место обрубщика должно быть оборудовано системами для удаления отходов и пыли, а также иметь подводы сжатого воздуха, электроэнергии напряжением 12–36 в; для проведения газокислородной резки и газопламенной очистки и обрубки иметь посты кислорода и газа, а для проведения сварочных работ и работ по воздушно-дуговой резки иметь сварочный трансформатор.

Примерная схема организации рабочего места для обрубки отливок весом 20–100 кг показана на рис. 13.6. Размеры и конструкции столов, стендов, а также инструмента, различны для отливок различного веса. Обработку отливок весом до 20 кг целесообразно производить на столах, оборудованных пневматическими тисками, а для отливок весом 20–100 кг – поворотными кругами. Рекомендуемые размеры столов для отливок весом до 20 кг – 1500 х 750 мм; для отливок весом 20–100 – 3500 х 1000 мм.

Обработку отливок весом выше 100 кг следует производить на механизированных стендах, оснащенных кантователями или манипуляторами. Отливки подаются к рабочим местам обрубщиков подвесным конвейером 1 и снимаются пневмоподъемником 7, подвешенным на монорельсе 10. Обрубка производится пневмоинструментом, газокислородной или воздушно-дуговой резкой на столах 9, оборудованных вращающимися кругами 4 и стопорными устройствами для фиксации их в нужном положении. Для возможности удаления мелких отходов круги делают решетчатыми. После очистки отливки

навешиваются на неприводные ветви 2 толкающего конвейера 3, передающего их на участок грунтовки. Рабочие места оборудованы также защитными сетками 8 и тумбочками для инструмента 6, и деревянными решетками 5.

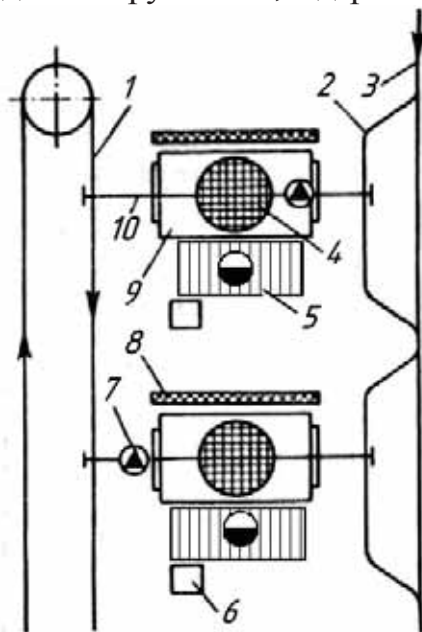


Рис. 13.6. Схема рабочего места для обрубki отливок весом 20–100 кг

При выборе инструмента необходимо уделять внимание набору зубил к пневматическим рубильным молоткам. Рациональный набор их должен состоять из 10–12 наименований как прямых, так и фасонных зубил с двух- и односторонней заточкой; при этом для отливок с большим весом следует применять зубила большей длины.

Наибольшее распространение получил пневмоинструмент, сконструированный на основе рубильных молотков (рис. 13.7).

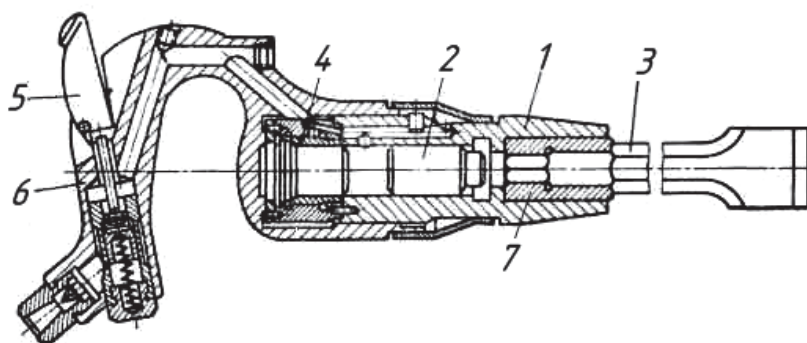


Рис. 13.7. Пневматический рубильный молоток для обрубki чугуных отливок: 1 – ствол; 2 – ударник; 3 – хвостовик зубила; 4 – золотник; 5 – курок; 6 – рукоятка; 7 – буksа

Для разного вида работ по очистке отливок применяются специальные формы зубил (табл. 13.6).

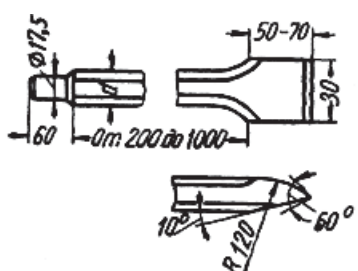
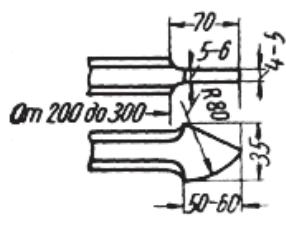
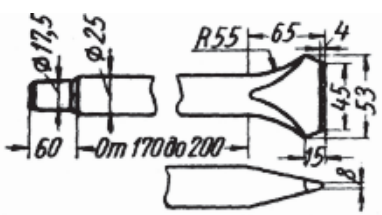
Зубила обычно изготавливают из стали марок У7 и У8. Значительно большей стойкостью обладают зубила, изготовленные из стали марок 4ХС, 6ХС и 7Х3. Термообработанные зубила принимаются по твердости, которая после закалки и отпуска должна быть при изготовлении их из стали марки У8 в режущей части HRC 50–55, а в хвостовой части HRC 40–50, а при изготовлении из стали марок 4ХС, 6ХС, 7Х3 соответственно HRC 58–61 и HRC 42–47.

Недостатком этого инструмента является вибрация, которая передается работающему и вызывает профессиональные заболевания. Пневмоинструментом производят удаление заливов, зачистку поверхности, удаление стержней.

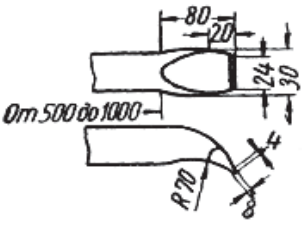
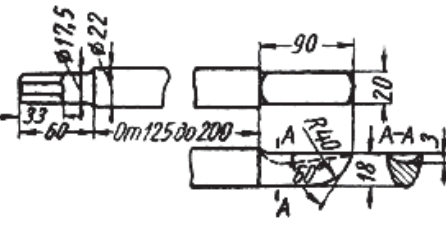
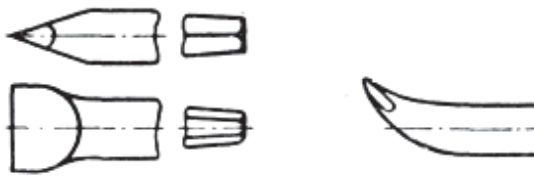
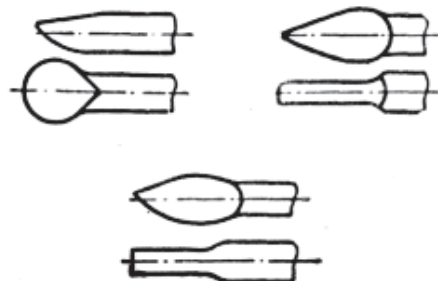
Обрубка пневматическим зубилом является тяжелой работой, поэтому задача технологов литейщиков состоит в максимальном уменьшении этого вида работ. Современные средства механизации очистных работ позволяют в условиях массового производства создавать механизированные поточные линии очистки поверхности отливок без применения пневматических зубил.

Таблица 13.6

Зубила, применяемые для очистки и обрубки отливок

Эскиз зубила	Назначение зубила
	Для очистки отливок (длиной 500–1000 мм) и для обрубки заливов (длиной 200–300 мм)
	Для очистки отливок от пригоревшей формовочной смеси и для вырубки дефектов под заварку
	С уширенной рабочей частью применяют для обрубки стальных отливок после отжига

Окончание таблицы 13.6

Эскиз зубила	Назначение зубила
	Зубила имеют специально загнутую рабочую часть; применяют для, очистки внутренних сферических поверхностей
	Для очистки и вырубки дефектов отливок
	Для очистки поверхности отливок от пригоревшей формовочной смеси
	Для удаления шлака после огневой резки
	Для разделки дефектов под заварку и зачистки галтелей
Примечание. Зубила длиной 400–1000 мм служат для обрубки и очистки глубоких мест в отливке и выбивки стержней из отливки, а длиной 300–800 мм для удаления пригара на стенках отверстий.	

Операции, основанные на снятии того или иного слоя металла, производятся также ручными пневмо- и электроинструментами с абразивными кругами.

Обработка отливок абразивами производится в основном после предварительной очистки поверхности другими способами и имеет следующее назначение: зачистка местных неровностей, снятие заусенцев, разделка местных дефектов, подготовка поверхностей к проведению операций контроля на твердость, проверка на наличие трещин или других дефектов, придание отливкам товарного вида.

При обработке отливок шлифовальными кругами применяются стационарные, маятниковые и переносные обдирочные (шлифовальные) станки, в том числе с гибким валом.

Универсальные ручные пневматические машины и подвесной станок показаны на рис. 13.8, 13.9.

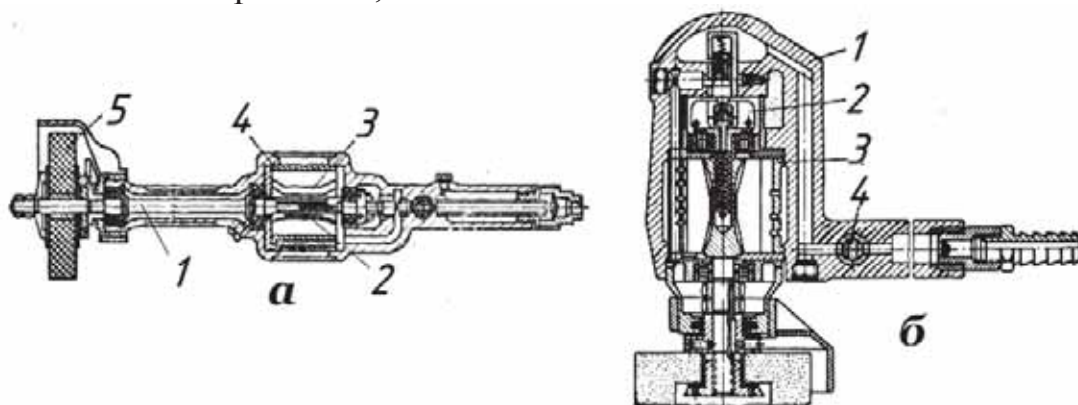


Рис. 13.8. Пневматические шлифовальные машины: а — типа ШРШ-2: 1 — шпиндель; 2 — ротор; 3 — лопатка текстолитовая; 5 — шлифовальный круг $\varnothing 150$ мм; б — угловая типа 44, 1 — корпус машины; 2 — регулятор оборотов; 3 — пневматический роторный двигатель; 4 — пусковой кран.

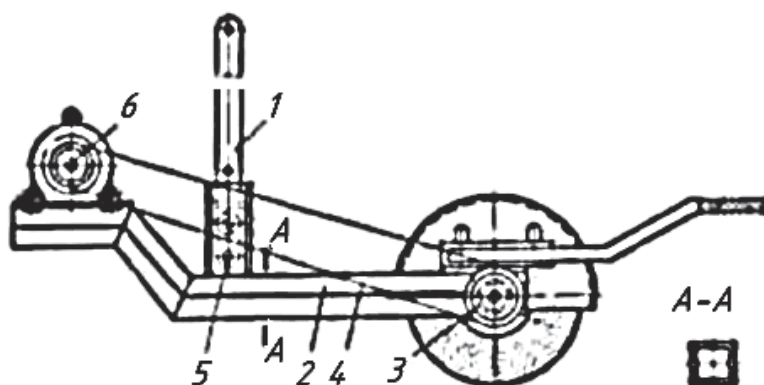


Рис. 13.9. Подвесной обдирочный станок: 1 — подвеска; 2 — рама; 3 — шкив; 4 — ремень; 5 — шарнир; 6 — электродвигатель

В массовом и крупносерийном производствах применяют агрегатные шлифовальные станки с набором точно расположенных шлифовальных кругов для обработки отливок многих деталей, в том числе таких массовых деталей, как гусеничные звенья, не прибегая к другим способам очистки поверхности.

Шлифовальные круги изготавливаются из искусственных абразивных материалов, главным образом карборунда и корунда и связующего вещества. Искусственный карбокорунд – соединение кремния и углерода (удельный вес $3,1\text{--}3,2\text{ г/см}^3$) – по твердости уступает только алмазу и бору. Острые края карборунда легко врезаются в металл, но при обработке вязких металлов зерна сами расщепляются. Поэтому карборундовые круги преимущественно применяют при обработке чугунных отливок.

Искусственный корунд состоит из глинозема с примесями кремнекислоты и оксида железа (удельный вес $3,9\text{--}4,0\text{ г/см}^3$). По твердости он уступает карборунду, но более вязок и поэтому применяется при обработке вязких металлов – стали. Корунд разделяется на несколько сортов: алунд, абразит, электрит и др.

Согласно ГОСТ Р 52381–2005 установлены следующие номера зернистости: 200; 160; 125; 100; 80; 63; 50; 40; 32; 25; 20; 16; 12; 10; 8; 6; 5; 4; 3; М40; М28; М20; М14; М10; М7; М5. Номера зернистости до № 5 включительно определяются размерами сторон ячеек в контрольных ситах, применяемых для анализа. Для определения номера зернистости нужно умножить на 100 размер стороны ячейки (в мм), через которую не проходят зерна данной фракции. Так, например, зернистости № 50 соответствуют размеры зерен, которые полностью проходят через смежное сито с размерами сторон ячейки 0,63 мм в свету, но задерживаются на сите с ячейками в 0,50 мм. По ГОСТ Р 52381–2005 абразивные материалы подразделяются на шлифзерно, шлифпорошки и микропорошки. Этим же ГОСТом регламентируются пределы содержания зерен разных размеров в предельной, крупной, основной, комплексной и мелкой фракциях.

Область применения абразивных кругов (табл. 13.7) устанавливается в зависимости от зернистости и твердости исходного материала круга. ГОСТ Р 52381–2005 определяет зернистость и зерновой состав, а ГОСТ Р 52587–2006 твердость абразивного инструмента.

Под твердостью абразивного инструмента понимается сопротивляемость связки вырыванию абразивных зерен с поверхности инструмента под действием внешних сил.

Таблица 13.7

Области применения шлифовальных кругов

Обрабатываемая сталь	Операция обработки	Характеристика круга		
		Материал	Зернистость материала круга	Пределы твердости
мягкая	Обдирка	Алунд	63—100	T1—CT3
закаленная	Шлифование	Алунд 38	32— 40	M2—M1
марганцевая	Обдирка	То же	80—160	BT2—T1
хромоникелевая	Шлифование	Алунд	40— 63	CT2—C2

ГОСТ Р 52587–2006 устанавливает следующую шкалу твердости абразивного инструмента:

F, G – весьма мягкий BM–1, BM–2;

H, I, J – мягкий M–1, M–2, M–3;

K, L – среднемягкий CM–1, CM–2;

M, N – средний C–1, C–2;

O, P, Q – среднетвердый CT–1, CT–2, CT–3.;

R, S – твердый T–1, T–2;

T, U — весьма твердый BT–1, BT–2;

V, W, X, Y, Z – чрезвычайно твердый ЧТ–1, ЧТ–2, ЧТ–3, ЧТ–4, ЧТ–5.

цифры 1, 2 и 3 справа от буквенного обозначения характеризует твердость инструмента в порядке ее возрастания.

По шкале Мооса, по которой наибольшую твердость, в 10 единиц имеет алмаз, абразивные материалы обладают твердостью: искусственный карборунд 9,6; искусственный корунд 9–9,5 и естественный наждак 7–8.

Номенклатура и технические условия на шлифовальные круги установлены ГОСТом 2424–83 с указанием в нем определенных связей.

При обдирочных работах рекомендуется применять для шлифовальных кругов окружную скорость 25–30 м/сек, при меньшей скорости круг изнашивается быстрее.

Эластичные обдирочные круги на нейлоновой связке можно использовать при окружной скорости 60–70 м/сек. Они обеспечивают особые преимущества при зачистке неровных поверхностей, которые нельзя очистить обычными кругами.

Абразивные ремни, изготавливаемые из прочного и эластичного синтетического материала, покрытого тонким слоем абразива, применяют при зачистке специальными машинками поверхности отливок малых и средних размеров; они обеспечивают высокое качество очистки и производительность.

13.5.2. Очистка отливок в галтовочных барабанах

Очистка отливок в галтовочных барабанах происходит за счет взаимного трения и соударения отливок между собой, а также со стенками барабана при его вращении. Одновременно с выбивкой стержней и очисткой отливок от формовочной смеси, окалины и пригара в галтовочных барабанах отбиваются литники, удаляются заусенцы и заливы по линии разъема, закатываются выступающие остатки литников.

Для усиления эффекта очистки в барабан вместе с отливками загружают звездочки размером 20...65 мм, отлитые из белого чугуна, которые своими острыми концами дополнительно скребут отливки, ускоряя их очистку. Наиболее эффективны звездочки для очистки труднодоступных частей отливок. Масса загружаемых звездочек составляет обычно 30...35 % массы загружаемых отливок.

Для очистки мелких отливок обычно применяют барабаны круглого сечения (рис. 13.10), которые загружают отливками на 70...80 %. Продолжительность очистки 0,5... 1,5 ч в зависимости от величины и прочности пригара.

Кроме круглых, встречаются барабаны квадратного сечения, которые применяют для очистки отливок, форма которых приближается к параллелепипеду.

В такие барабаны отливки загружают не навалом, а аккуратно укладывают, заполняя весь объем барабана. Перемещение отливок ограничено, и очистка происходит в основном благодаря циркуляции звездочек.

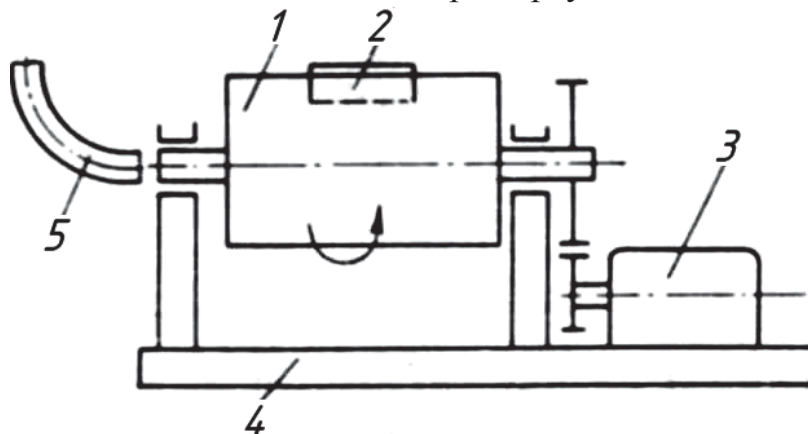


Рис. 13.10. Схема галтовочного барабана: 1— корпус; 2 — загрузочный люк; 3 — привод вращения барабана; 4 — основание; 5 — патрубок для отсоса пыли из барабана

Производительность барабана находится в прямой зависимости от частоты вращения, однако при слишком большой частоте вращения центробежные силы могут прижать отливки к стенкам барабана, и процесс

очистки прекратится. Очистные барабаны, которые чаще называют «галтовочными», бывают двух видов – периодического и непрерывного действия. Барабан периодического действия состоит из собственно барабана, цапфы которого вращаются в подшипниках, установленных на стойках рамы. В обечайке барабана имеется загрузочный люк, закрываемый крышкой с замками. Привод барабана осуществляется от электродвигателя через редуктор, шестерня которого находится в зацеплении с зубчатым колесом, надетым на цапфу барабана. Обычно при работе барабана производят отсос пыли через патрубок, подсоединенный к полый цапфе. Для загрузки отливок барабан может быть оснащен подъемником.

Общий вид галтовочного барабана непрерывного действия представлен на рис. 13.11.

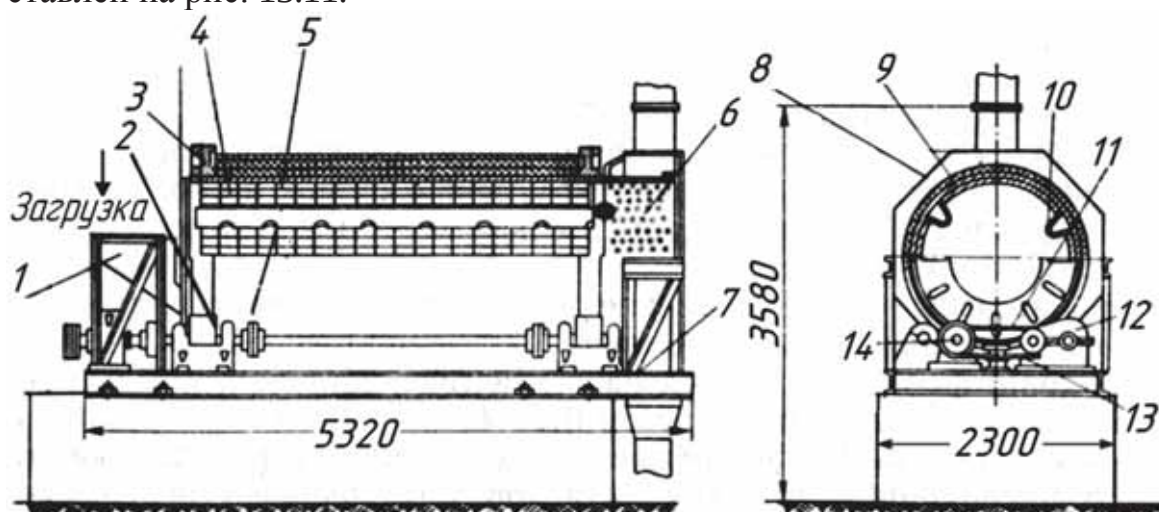


Рис. 13.11. Общий вид галтовочного барабана непрерывного действия конструкции ВПТИлитпрома

Галтовочный барабан представляет собой бочку 4, вращающуюся на опорных катках 2 и удерживающуюся от осевого смещения роликами 13. Бочка барабана опирается на опорные катки 2 специальными стальными бандажами 3 и состоит из цельнолитого стального цилиндра с бронированием внутренней поверхности ребристыми стальными плитами 5. На внутренней части цилиндра в продольном направлении приварены три стальных волнистых порога 10.

Для направленного движения отливок из барабана со стороны загрузки к выходу рама 7 устанавливается в наклонном положении, угол наклона которого может регулироваться. Поэтому лоток 1 для загрузки отливок в бочку 4 жестко связан с барабаном. Выходная часть бочки барабана представляет собой перфорированный цилиндр 6, через который отходы просыпаются на уборочный конвейер. Перфорированный ци-

линдр расположен в пылеотсосной камере 8 с резиновым уплотнением. Окно в пылеотсосной камере выполнено в форме сегмента и постоянно закрыто резиновой занавеской. Это окно служит также для выхода отливок, литников и прибылей, которые по лотку направляются из барабана на приемное устройство.

Приводной механизм барабана состоит из электродвигателя 14, клиноременной передачи 11 и редуктора 12.

Отливки, непрерывно поступающие с одной стороны барабана, постепенно продвигаются вдоль барабана и за счет взаимного трения одной о другую очищаются. Для удаления из барабана песка и пригара служат отверстия, которые сделаны в его стенках. Под барабаном размещается ленточный конвейер для уборки песка, приводимый в действие электродвигателем. Сверху барабан закрыт кожухом, который патрубком соединен с цеховой вентиляцией.

Недостатком барабанов является высокий уровень шума и сильное пылевыведение. Барабаны периодического действия, кроме того, имеют малую производительность. Их главное преимущество – простота и надежность. В настоящее время барабаны периодического действия повсеместно заменяются другими устройствами.

Барабаны непрерывного действия не обеспечивают, как правило, хорошего качества очистки; они, в основном, применяются для предварительной очистки отливки от формовочной смеси; полную очистку отливки проходят затем в дробебетном барабане непрерывного действия.

Галтовочные барабаны применяются в большинстве случаев для очистки толстостенных отливок с толщиной стенки свыше 10 мм и весом до 40–50 кг. Они широко распространены в литейных цехах с крупносерийным, массовым и особенно с мелкосерийным и индивидуальным характером производства.

Одним из главных преимуществ галтовочных барабанов является простота конструкции, надежность в работе, возможность включения в поточную линию, компактность и достаточно высокий уровень механизации вспомогательных операций.

Очистка литья в галтовочных барабанах имеет следующие недостатки:

- искажение геометрических размеров за счет скругления острых граней и углов на отливках;
- неудовлетворительные санитарно-гигиенические условия работы операторов (шум, пыль);
- затруднение механизации съема, установки и крепления крышки люка при загрузке и выгрузке отливок в барабанах периодического действия;
- необходимость периодической очистки барабанов, что несовместимо с условиями поточно-массового непрерывного производства;

– малая производительность и большой расход электроэнергии на очистку 1 т отливок по сравнению с дробеметными барабанами.

Конструкции барабанов как в нашей стране, так и за рубежом весьма разнообразны. Наибольшее распространение получили барабаны круглого и квадратного сечения, опирающиеся на цапфы или опорные ролики.

Кроме очистки отливок, в галтовочных барабанах используют также вибрационную, дробеметную и дробеструйную очистку.

13.5.3. Вибрационная очистка

При вибрационной очистке обработка наружных и внутренних поверхностей отливок производится путем вибрации контейнера с находящимися в нем деталями и наполнителем с частотой до 3000 колебаний в минуту (рис. 13.12).

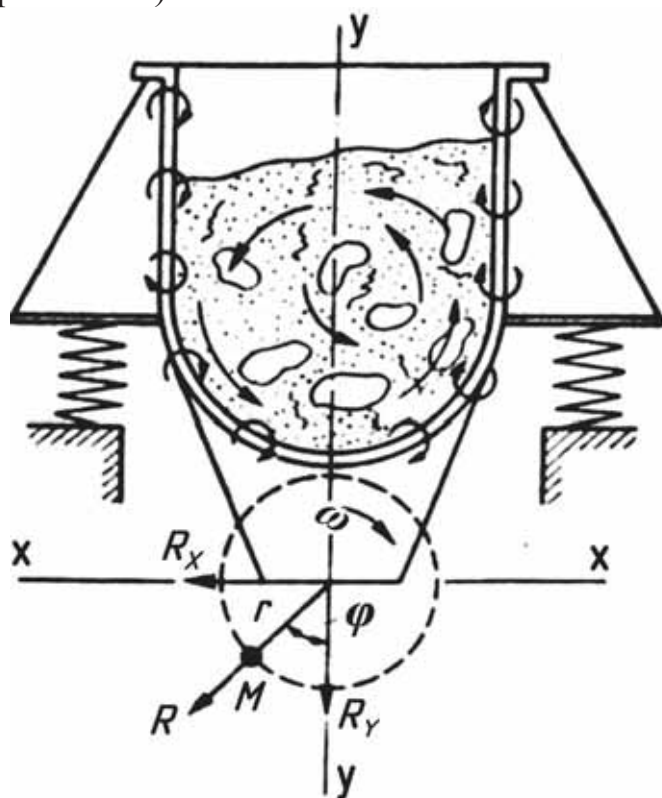


Рис. 13.12. Схема вибрационной обработки деталей: M – вращающаяся неуравновешенная масса; R – возмущающая (центробежная) сила, получающаяся при вращении массы M ; R_x и R_y – горизонтальная и вертикальная составляющие силы R ; ω – угловая скорость вращения массы M ; r – эксцентриситет массы M ; φ – начальная фаза колебания

Вибрация деталей и кусочков обрабатывающей среды, помещенных в контейнер, складывается из вынужденных колебаний (передавае-

мых массе контейнером) и собственных колебаний массы; при этом последние зависят от веса (размеров) колеблющихся тел и их упругих связей. Траектории перемещения частиц массы будут различны, но все они будут иметь общий характер перемещения, определяемый вынужденными колебаниями системы.

Вследствие разности масс кусочки обрабатывающей среды и детали получают разное ускорение, вызывающее их перемещение друг относительно друга. Кусочки наполнителя при скольжении прижимаются к поверхности обрабатываемых деталей под давлением остальной массы, в результате чего происходит процесс резания. Режим резания может быть подобран таким образом, чтобы каждый кусочек абразива прижимался к поверхности детали со значительным усилием, приводящим к интенсивности съему материала.

При вибрационной обработке контейнер совершает колебательное движение. Положение точки x , совершающей колебание, определяется следующим уравнением:

$$x = A \sin (\omega t + \varphi), \quad (13.2)$$

где A – амплитуда колебания в мм; ω – угловая (или круговая) частота в рад/сек; φ – начальная фаза колебания (фазовый угол) в рад

Период колебаний T , т. е. продолжительность одного полного колебания, определяется по формуле

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{6,28}{\omega} \text{сек.} \quad (13.3)$$

Величина, обратная периоду колебания $\nu = \frac{1}{T}$ называется частотой колебаний; единицей частоты является герц. Связь угловой частоты с частотой в герцах определяется выражениями

$$\omega = 2\pi f \text{ или } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (13.4)$$

Начальная фаза колебания (фазовый угол) φ определяет фазу в момент времени, принимаемый за начальный ($t = 0$). Изменение начального фазового угла при графическом изображении вызывает лишь смещение синусоиды и косинусоиды, взаимно перпендикулярных колебательных движений вдоль оси времени.

Фазовым углом, или фазой гармонического колебания, называется угол, образованный направлением вектора для данного момента времени и осью абсцисс (что справедливо и для начального фазового угла). Величина фазового угла определяется аргументом $\omega t + \varphi$. Фаза определяется числом периодов (целых или дробных частей), протекших от начала отсчета времени.

Два колебания называются синхронными, если их частоты равны. Для таких колебаний разность начальных фазовых углов одного колебания относительно другого называется сдвигом фаз.

При гармонических колебаниях, как скорость, так и ускорение являются переменными величинами, зависящими от амплитуды:

$$v = \omega A; \quad (13.5)$$

$$w = \omega^2 A, \quad (13.6)$$

где v – скорость; ω – угловая частота вибрации; A – амплитуда гармонического колебания; w – ускорение.

Процесс обработки будет происходить только в том случае, если величина ускорения w будет больше величины ускорения силы тяжести g . При $w < g$ контейнер вместе с деталями и наполнителем будет совершать колебания как одно целое, и процесс обработки не будет осуществляться.

В зависимости от формы перемещения следует различать прямолинейную, плоскостную и объемную вибрации.

Прямолинейной вибрацией называется такой вид вибрации, при которой рассматриваемая точка все время остается на одной прямой. В зависимости от угла наклона к горизонту прямолинейная вибрация может быть вертикальной, горизонтальной и наклонной. При прямолинейной вибрации системы имеют одну степень свободы. Этот вид вибрации называется также однокомпонентной или направленной вибрацией.

При прямолинейной вертикальной вибрации ориентировка геометрических осей деталей по отношению к направлению перемещения наполнителя может оказаться различной.

На рис. 13.13, а деталь движется вдоль направления перемещения. В этом случае скорость относительного перемещения v_0 детали 1 и кусочков обрабатывающей среды 2, которая в основном определяет производительность процесса, будет равна

$$v_0 = v_1 - v_2 \quad (13.7)$$

где v_1 – скорость перемещения детали; v_2 – скорость перемещения кусочков обрабатывающей среды.

Для того чтобы при указанном характере перемещения происходила обработка отливки, необходимо создать дополнительное боковое усилие, которое прижимало бы кусочки наполнителя к детали. Такое усилие создается давлением окружающей среды. Однако поскольку общий характер перемещения всей массы идентичен одной рассмотренной детали и масса при движении не встречает никаких препятствий, то давление окружающей среды весьма незначительно.

На рис. 13.13, б деталь 1 движется перпендикулярно направлению перемещения. В этом случае происходит удар кусочка 2 обрабатывающей среды о поверхность детали 1 со скоростью v_0 . На каждую деталь действует сила, равная произведению массы, расположенной над деталью, на ускорение, т. е. практически сила удара настолько велика, что на поверхности грубых массивных деталей образуются забоины, вмятины и лунки, видимые глазом, а более хрупкие детали деформируются или даже ломаются; при этом металл с поверхности деталей почти не снимается. Количество таких ударов прямо пропорционально частоте вибрации.

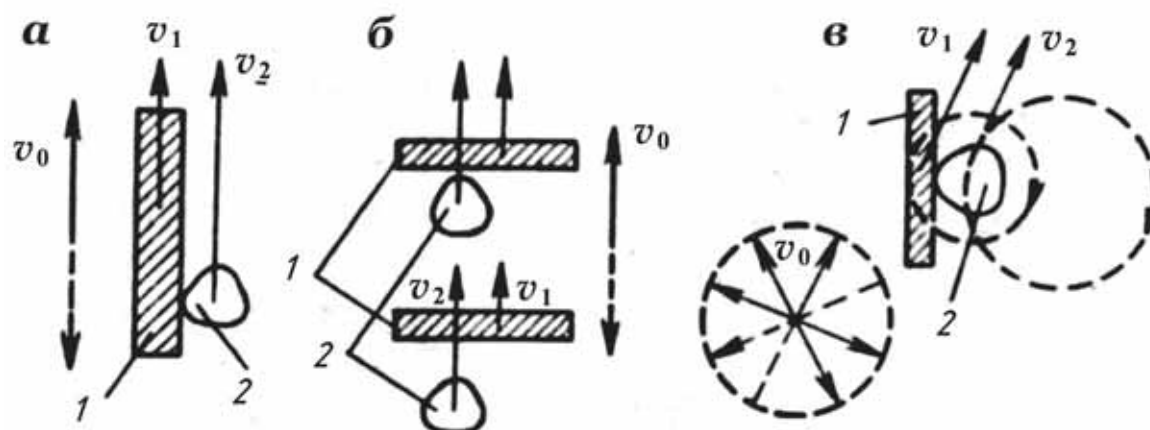


Рис. 13.13. Различные положения обрабатываемой детали и наполнителя при прямолинейной и круговой вибрации: а – касательное; б – торцевое; в – по окружности

Ориентация отливок в контейнере носит случайный неконтролируемый характер. Удельное количество отливок, попавших в условия малоинтенсивной обработки, может быть значительным, что приводит к неравномерной их обработке (к наличию у них забоин и вмятин) и сводит на нет все преимущества вибрационного метода обработки. Кроме того, при вертикальной прямолинейной вибрации происходит фракционирование сыпучей массы, в результате чего более крупные, тяжелые частицы опускаются вниз, что также приводит к неравномерной обработке деталей.

При горизонтальной прямолинейной вибрации происходит в основном скольжение кусочков обрабатывающей среды по поверхности деталей. Вследствие того, что вибрационное ускорение больше ускорения силы тяжести, усилие прижима этого кусочка к поверхности детали под действием остальной массы очень мало.

Наклонная прямолинейная вибрация используется в основном в транспортирующих устройствах (вибротранспортеры, вибробункеры и др.).

Этот вид вибрации для обработки отливок имеет те же недостатки,

что и вертикальная прямолинейная вибрация.

При плоскостной вибрации каждая рассматриваемая точка все время остается в одной плоскости. В зависимости от угла наклона к горизонтальной плоскости различают два крайних случая: вертикальная плоскостная вибрация и горизонтальная плоскостная вибрация. Кроме того, по виду фигуры, описываемой точкой тела, плоскостная вибрация может быть эллиптической, круговой и т. д.

При плоскостной вибрации системы имеют три степени свободы перемещения: линейное перемещение по двум взаимно перпендикулярным осям и поворот вокруг третьей оси. Этот вид вибрации называется также двухкомпонентной вибрацией. При двухкомпонентной вибрации наряду с вибрационным воздействием происходит непрерывное перемешивание массы наполнителя и деталей. В этом случае на контейнер воздействуют сложные колебания, являющиеся суммой вертикально и горизонтально направленных гармонических колебаний равной амплитуды и частоты. Схема такого сложения колебаний приведена на рис. 13.14, а.

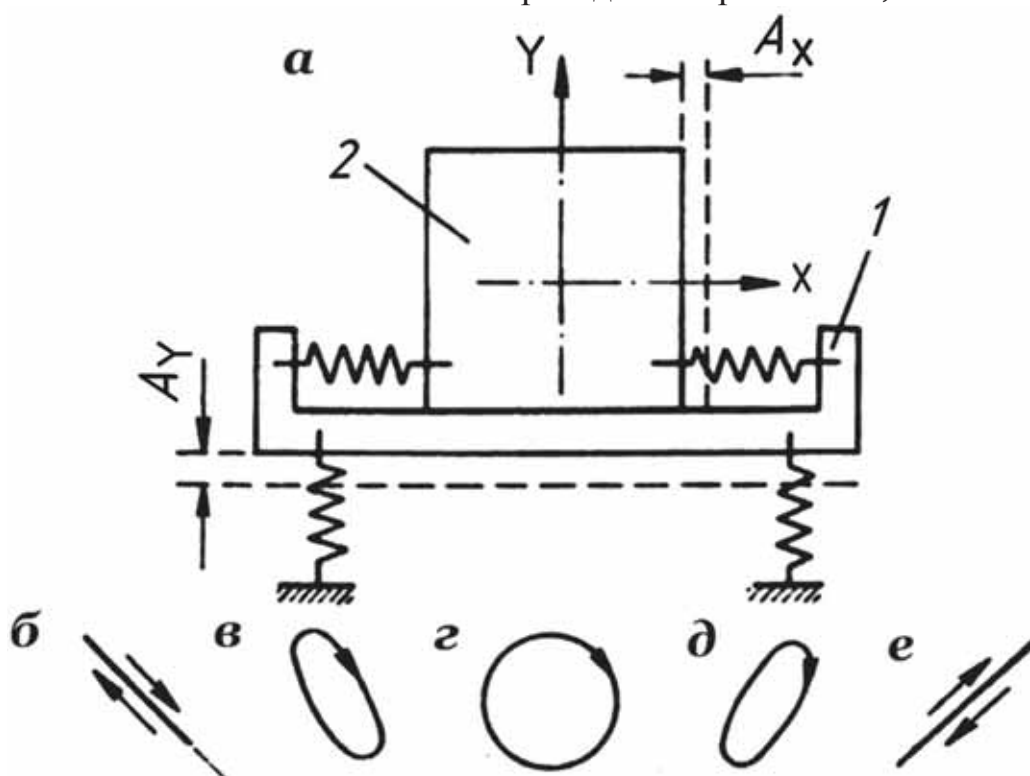


Рис. 13.14. Схемы плоскостной вибрации

Здесь вибрационный стол 1 совершает вертикальные гармонические колебания с амплитудой A_y в направлении оси Y с частотой ω , а установленный на столе контейнер 2 совершает горизонтальное гармоническое колебание с амплитудой A_x в направлении

оси X с той же частотой ω . В результате такого вибрационного воздействия образуется сложное колебание контейнера, являющееся суммой двух гармонических составляющих. Оно выражается формулой

$$A_Y \sin(\omega t + \varphi) + A_X \sin(\omega t + \alpha), \quad (13.8)$$

где φ и α – начальные фазы слагаемых колебаний.

В зависимости от начальных фаз траектория движения суммарного колебания приобретает различные формы. На рис. 13.14, б показана траектория движения колеблющейся точки при $\varphi - \alpha = 0$ (сдвиг фаз отсутствует). Эта траектория является прямой, расположенной под углом 45° к горизонтальной плоскости. При $\varphi - \alpha = \pi : 4$ (или 45°) траектория колебания представляет собою эллипс с наклонной большой осью (рис. 13.14, в). При $\varphi - \alpha = \pi : 2$ (сдвиг фаз 90°) колебание совершается по круговой траектории (рис. 13.14, г). При сдвиге фаз на $3/4\pi$ или на 135° и π траектория соответствует эллипсу и прямой с наклоном в другую сторону (рис. 13.14, д и е).

На рис. 13.15, а показан контейнер при воздействии на него сложного колебания с отсутствием сдвига фаз слагаемых. При таком воздействии вибрация дна контейнера направляет массу в правую сторону, правая стенка направляет массу вниз, а левая – вверх. Образующиеся потоки создают встречные движения, которые затрудняют процесс перемешивания и способствуют образованию зон застоя.

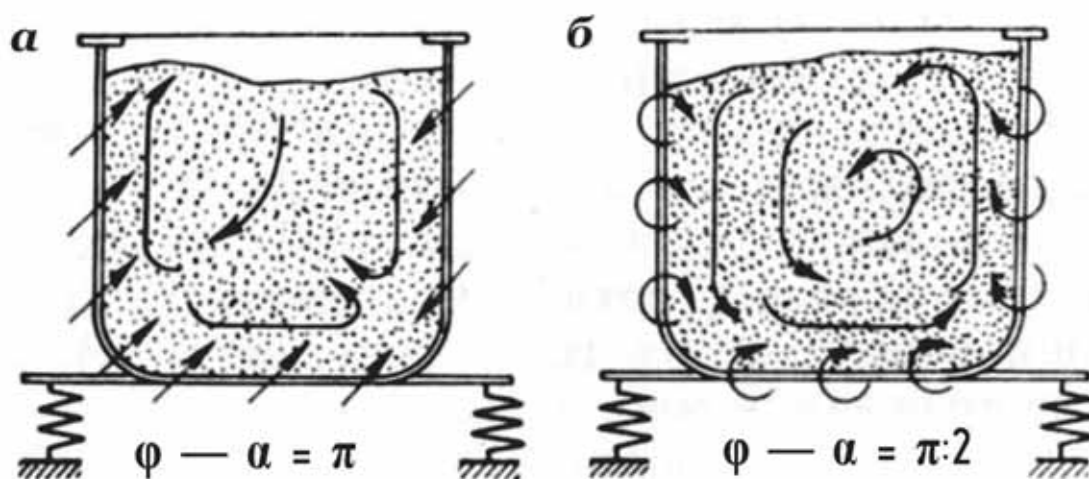


Рис. 13.15. Движение массы в контейнерах вибрационной машины при различных траекториях (стрелками указано перемещение контейнера и наполнителя): а – линейной; б – круговой

На рис. 13.15, б показано движение массы в контейнере при сложном колебании, имеющем круговую траекторию (сдвиг фаз слагаемых 90°). Здесь вибрация дна вызывает движение массы в правую сторону, правая стенка – вверх, а левая – вниз.

При таком вибрационном воздействии отсутствуют встречные движения, вся масса вращается в контейнере, что обеспечивает необходимое перемешивание и всестороннюю равномерную обработку деталей. Практика показывает, что наилучшие результаты получаются при круговой траектории вибрационного движения.

При прямолинейной вибрации направление скорости деталей V_1 и кусочков обрабатывающей среды V_2 почти всегда совпадают, а при плоскостной вибрации благодаря турбулентности потока относительная скорость в общей массе будет выше и имеет вид

$$V_0 = V_1 \pm V_2, \quad (13.9)$$

так как в среднем можно считать, что совпадение направлений скорости V_1 и V_2 будет составлять 50 %, а в остальных случаях скорости по направлению не совпадают. Это значительно повышает производительность процесса. Несовпадение по направлению скоростей V_1 и V_2 объясняется тем, что в подавляющем большинстве детали имеют неправильную геометрическую форму: выступы, острые кромки и отверстия, расположенные несимметрично. В результате этого лобовое сопротивление перемещению разных участков детали различно. Таким образом, деталь при перемещении все время поворачивается вокруг своих геометрических осей. Абразивные кусочки также вращаются вокруг своих осей.

Эти обстоятельства определяют вероятность несовпадения скоростей V_1 и V_2 приблизительно в 50 % случаев столкновения детали 1 и кусочков абразива 2, как показано на рис. 13.13, в. Вращение деталей при перемещении способствует равномерной их обработке

Энергия, передаваемая от платформы массе, расходуется в основном на работу абразивного трения, иначе говоря, обработка отливок происходит в период нахождения их вне связи с платформой. Если энергию, полученную массой, обозначить через E_K , то производительность процесса

$$N = b \frac{E_K}{T} = \frac{9,8b}{2\pi} E_K \omega, \quad (13.9)$$

где N – производительность процесса в Дж/сек; T – период колебаний в сек; ω – угловая частота вибрации в сек^{-1} ; b – коэффициент, учитывающий непроизводительные расходы энергии.

Как видно из приведенной формулы, производительность процесса прямо пропорциональна частоте вибраций.

Увеличение амплитуды (при неизменных значениях колеблющейся массы и частоты вибрации) связано, прежде всего, с увеличением возмущающей силы. Это влечет за собой возрастание напряжений в конструкции вибрационной установки и влияет на производительность процесса.

Основное отличие плоскостной вибрации от прямолинейной заключается в том, что при плоскостной вибрации кусочек обрабатываемой среды почти всегда встречается с поверхностью обрабатываемой детали по касательной без удара, но со значительной силой прижима, создаваемой воздействием соседних слоев среды. При этом происходит наиболее интенсивное снятие металла с поверхности, причем деформации деталей (даже тонколистовых, ажурных, хрупких) не происходит. В настоящее время в подавляющем большинстве отечественных вибрационных установок для обработки деталей с сыпучим наполнителем используется двухкомпонентная, или плоскостная вибрация.

При объемной, или трехкомпонентной вибрации система имеет четыре степени свободы перемещения: линейное перемещение по трем взаимно перпендикулярным осям и поворот вокруг одной из них.

Возникновение сложных пространственных траекторий при трехкомпонентной вибрации, как показывает опыт, может значительно повышать интенсивность процесса обработки деталей, однако при этом большое значение имеет форма контейнера, которая может способствовать или затруднять перемещение частиц, влиять на турбулентность потока и тем самым на эффективность процесса обработки.

13.5.3.1. Выбор наполнителя

На эффективность очистки отливок весьма существенное влияние оказывает ряд технологических факторов. Основными из них являются материал наполнителя, размер гранул наполнителя, объемное соотношение наполнителя и отливок, объем заполнения контейнера и др.

Выбор наполнителя производится в зависимости от группы сложности отливок, их габаритов, наличия углов, пазов, отверстий, материала отливок (чугун, сталь, цветные сплавы) и требований, предъявляемых к отливкам после очистки.

Наиболее распространенным наполнителем при вибрационной обработке являются абразивы. Основное требование, которому должны удовлетворять абразивы – способность сохранять режущие свойства в течение всего процесса вибрационной обработки. Чаще всего

применяются синтетические абразивы – электрокорунд нормальный Э и белый ЭБ. Электрокорунд нормальный или просто электрокорунд содержит 91–96 % оксида алюминия (Al_2O_3) и имеет цвет от розового до темно-коричневого. Электрокорунд белый содержит 97–99 % Al_2O_3 . Удельный вес электрокорунда 3,93–4,01 г/см³, твердость по шкале Мооса 9–9,5 единиц. Стоимость электрокорунда невысока.

Из естественных абразивов для очистки отливок могут применяться наждак и корунд. Корунд – минерал, состоящий из 70–92 % оксида алюминия (Al_2O_3) с примесями окиси железа, слюды, кварца и т. д. Абразивная способность и стойкость этих материалов ниже, чем у электрокорунда, а следовательно, ниже производительность процесса. Под стойкостью абразивного материала здесь понимается сохранение режущих свойств зерна, а не абразивного инструмента. Абразивы могут применяться как в виде первичного материала, так и в виде боя абразивных кругов. В последнем случае расход абразива выше, а на отливках при сухом способе обработки остается налет, ухудшающий внешний вид изделия.

Хорошие результаты получаются при применении в качестве наполнителя звездочек из отбеленного чугуна. Может применяться также штамповка разной геометрической формы. Наполнители, применяемые при очистке отливок, показаны на рис. 13.16.

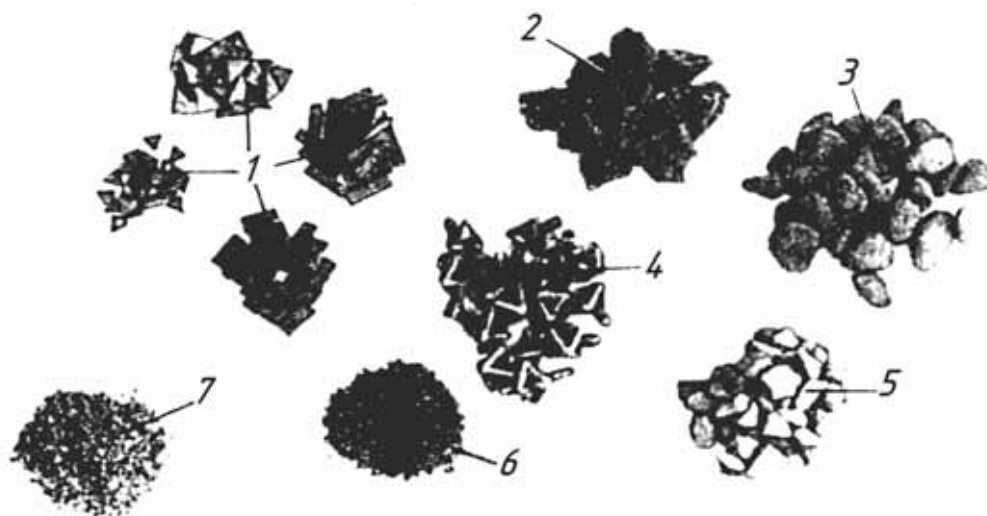


Рис. 13.16. Виды наполнителей: 1 – штамповка; 2 – необкатанный бой абразивных кругов; 3 – обкатанный бой абразивных кругов; 4 – звездочки из отбеленного чугуна; 5 – плавеный нормальный электрокорунд; 6 – сечка; 7 – дробь

Продолжительность очистки отливок до одинакового качества литой поверхности, полученная при применении различных видов наполнителей, представлена в табл. 13.8.

Таблица 13.8

Продолжительность очистки отливок различными наполнителями

Наименование наполнителя	Материал наполнителя	Размеры кусков в мм	Продолжительность очистки в мин
Звездочки	Отбеленный чугун	20х20	25
Штамповка	Ст.3	20х20	35
Бой абразивных кругов	ЭБ80СТ2 Б	20х20	20
Плавленый оксид алюминия Al_2O_3	Электрокорунд	20х20	20
Без наполнителя	—	—	45

Закругление острых кромок и удаление заусенцев при использовании боя абразивных кругов сравнительно невелико. Наибольшее закругление острых кромок дает использование металлического наполнителя (звездочек, штамповки, бракованных мелких деталей и т. д.). Отливки, обработанные металлическим наполнителем, имеют блестящий вид и не имеют абразивной пыли, присущей отливкам при применении синтетических наполнителей.

Влияние материала наполнителя на эффективность вибрационной обработки и его расход приведены в табл. 13.9.

Таблица 13.9

Эффективность и расход при обработке различными наполнителями

Наименование наполнителя	Средний вес снятого металла в г	Расход наполнителя в %
Звездочки из отбеленного чугуна	1,06	0,5
Бои абразивных кругов (ЭБ 80 СТ 2Б)	0,95	35
Плавленый нормальный электрокорунд	0,82	10

Из табл. 13.9 следует, что наилучший эффект наблюдается при применении звездочек из отбеленного чугуна или другого металлического наполнителя. Иногда для очистки сложных отливок, имеющих пазы, карманы и т. д., требуется применять комбинированный наполнитель. При этом могут применяться различные сочетания наполнителей. Эффективность вибрационной обработки при комбинации наполнителей по сравнению с однородным наполнителем снижается. Значительный съем металла при применении звездочек из отбеленного чугуна объясняется наличием острых выступов, а также большой их массой по

сравнению с другими наполнителями, что приводит к увеличению усилия соударения между обрабатываемыми отливками и наполнителем.

Как видно из табл. 13.9, расход боя абразивных кругов значительно больше расхода металлического наполнителя. Поэтому применение боя абразивных кругов связано с удорожанием процесса очистки.

Бой абразивных кругов и электрокорунд находят широкое применение при очистке отливок, изготавливаемых литьем под давлением в оболочковые формы и т. д. Однако через 2 ч работы установки при применении в качестве наполнителя боя абразивных кругов производительность процесса в среднем снижается на 30 %.

Кроме указанных наполнителей, для очистки отливок могут применяться металлокерамические пластинки, дробленый феррохром и др. Стойкость минералокерамических пластинок составляет 700–800 ч, а феррохрома – 400–500 ч. Производительность очистки отливок с указанными наполнителями в 1,5–2 раза выше, чем при применении боя абразивных кругов.

За рубежом в качестве наиболее производительных абразивов при вибрационной обработке применяют оксид алюминия специальных профилей, например треугольников, шаров, призм и т. д.

Форма кусочков наполнителя не оказывает влияния на производительность, однако стойкость специально отформованного абразивного наполнителя значительно выше, чем кусков неправильной формы, получающихся при бое кругов.

Твердость абразивного инструмента определяется сопротивляемостью связки вырыванию абразивных зерен с поверхности инструмента под влиянием внешних сил.

По данным ВПТИлитпрома продолжительность очистки с увеличением твердости абразивного наполнителя от СТ –1 до СТ –3 снижается в среднем на 18–20 %. Расход наполнителя при этом практически не меняется.

Зернистость абразива влияет как на продолжительность очистки, так и на расход наполнителя. Расход абразива с зернистостью 80 почти в два раза меньше, чем с зернистостью 160. Продолжительность очистки (производительность) для зернистости 80 на 18–20 % меньше, чем для зернистости 160.

Зернистость влияет также на окончательную чистоту поверхности. Высота микронеровностей обрабатываемой поверхности соизмерима с размерами выступания отдельных зерен из связки. Размер гранул абразивного наполнителя выбирается в 1,5–2 раза меньше размера обрабатываемых отверстий, пазов и т. д. или в 2–3 раза больше их. Если в от-

ливке имеется несколько отверстий или пазов разных размеров, соизмеримых с размерами гранул, то необходимо принимать абразивный наполнитель с соответствующими размерами гранул.

13.5.3.2. Виброгидроабразивная очистка

Сущность виброгидроабразивной очистки заключается в том, что на отливки одновременно воздействует вибрация и химические растворы.

При виброгидроабразивной очистке помимо факторов, определяющих производительность процесса при «сухой» очистке, оказывают также влияние состав эмульсии и режим промывки контейнера.

Установки для виброгидроабразивной очистки отливок снабжены специальной рециркуляционной гидросистемой, подающей непрерывно или периодически эмульсию в контейнер. Рециркуляция обеспечивает охлаждение и промывку абразивного состава при непрерывном удалении образующейся мелкой абразивной пыли, частиц окалина и других продуктов обработки. Благодаря этому ускоряется процесс очистки и увеличивается стойкость абразива, достигающая по практическим данным до 48 ч.

Применяемые растворы выполняют следующие функции: механическое удаление мелких фракций наполнителя; восстановление режущих свойств абразивного наполнителя за счет обезжиривания его щелочным раствором; удаление с поверхности обрабатываемых деталей окисных пленок и солей, особенно в местах труднодоступных для обработки (щели, пазы, отверстия и т. п.). Вследствие регенерации режущих свойств абразивного наполнителя при виброгидроабразивном процессе можно применять абразивный наполнитель повышенной твердости до ЧТ2).

Периодическая смена раствора предусматривает использование растворов с возрастающей концентрацией, так как к концу обработки его химическая активность резко падает. Наиболее эффективной является непрерывная промывка абразивного наполнителя раствором низкой концентрации (2–5 %). При этом за один цикл обработки перекачивается значительное количество раствора. Применение отстойников позволяет использовать многократно один и тот же раствор. Большинство зарубежных фирм предпочитают использовать непрерывную промывку контейнера в процессе обработки.

Для очистки отливок количество раствора в контейнере следует поддерживать в пределах $\frac{1}{17} - \frac{1}{20}$ его объема (при этом имеется в виду, что уровень массы деталей и наполнителя составляет не менее $\frac{4}{5}$ высоты контейнера). Для отделочных операций уровень раствора должен составлять от $\frac{1}{2}$ до $\frac{2}{3}$ высоты контейнера.

ми 9. Платформа расположена на раме 11 на четырех витых пружинах 16. Привод установки осуществляется от электродвигателя 7 через клиноременную передачу 8 с комплектом сменных шкивов и вала подшипниковой стойки 10 на соединительную муфту 6. Муфта 6 связана с соединительной муфтой 15 гибким валом 14, который проходит через полый вал 12 с закрепленными на нем дебалансными грузами 13.

Такая конструкция привода обеспечивает спокойную работу и не передает вибрации на электродвигатель. Изменение величины амплитуды осуществляется без съема основного дебаланса. Это дает возможность более точной регулировки амплитуды. Для продувки контейнера во время работы, с целью удаления абразивной пыли, контейнер снабжен тремя штуцерами 3 с одним общим подводом сжатого воздуха, а в крышке 5 находится отводная труба 4, соединенная с системой вентиляции. Установка имеет съемные контейнеры.

На рис. 13.18 показана принципиальная схема виброгидроабразивной установки с экран-вставкой.

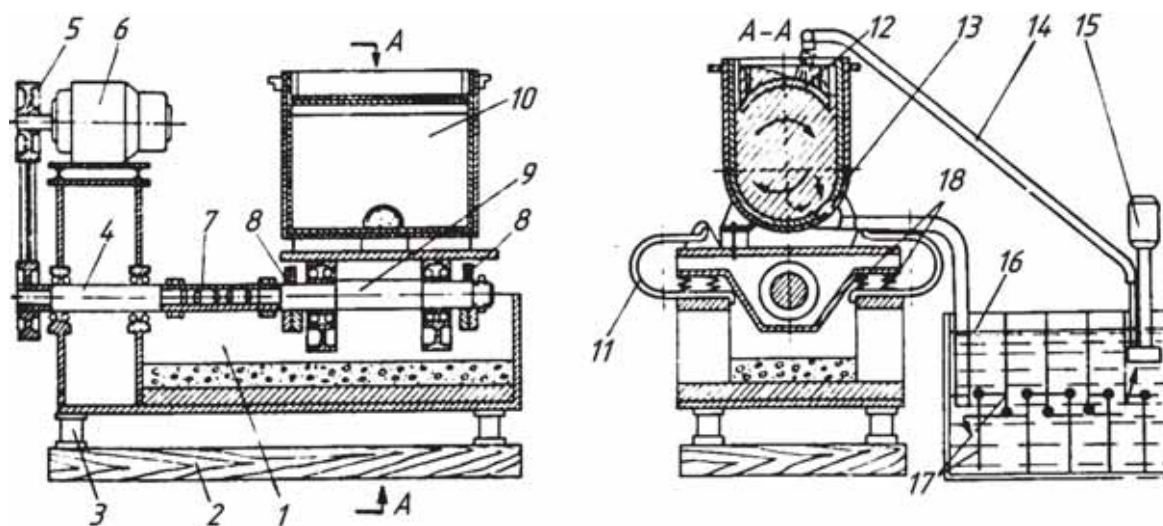


Рис. 13.18. Принципиальная схема виброгидроабразивной установки с экран-вставкой: 1 – сварная рама; 2 – деревянная платформа; 3 – резиновые амортизаторы; 4 – промежуточный вал; 5 – клиноременная передача; 6 – электродвигатель; 7 – гибкая муфта; 8 – дебалансные диски; 9 – вал; 10 – резервуар; 11 – С-образные рессоры; 12 – экран-вставка; 13 – люк; 14 – напорный рукав; 15 – электропомпа; 16 – отстойник; 17 – вертикальные перегородки; 18 – цилиндрические пружины

В этой установке в качестве упругих элементов применена комбинация спиральных пружин и С-образных рессор, которая позволяет изменять траекторию колебаний контейнера от вытянутого эллипса, с отношением полуосей $A_y/A_x = 3,5$ до окружности. Кроме того, для создания оптимальной траектории перемещения содержимого контейнера в

установке применен экран-вставка 12, расположенный в верхней части контейнера. Применение экрана-вставки значительно увеличивает съем металла при виброобработке; при этом мощность, потребляемая установкой, увеличивается в 1,5 раза. Детали загружают в резервуар при помощи кран-балки.

Вибрационная обработка может быть широко внедрена в производство при полной механизации основных и вспомогательных операций. Одной из трудоемких операций при вибрационной обработке является отделение отливок от наполнителя. В большинстве случаев эта операция осуществляется на вибрационных ситах. Вибрационные сита конструкции НИИТмаша имеют инерционный вибратор, смонтированный на корпусе. Сито наклонено к горизонтальной плоскости под углом 10–15°. Под действием вибрации наполнитель и отливки перемещаются от верхнего сита к нижнему. Наполнитель проваливается через сетку на поддон, а отливки остаются на сетке. Сито имеет быстросъемные сетки, которые меняются в зависимости от сочетания отливок и наполнителя, и кантователи с цапфами, в которые вставляются контейнеры перед опрокидыванием. Конструктивно сита различаются незначительно. Корпус сита малого габарита подвешивается на подпружиненных тросиках, а корпус сита крупного габарита устанавливается на С-образных пружинах.

Конструкция вибросит отработана, и они широко применяются в горнорудной, угольной и абразивной промышленности.

Отделение отливок от наполнителя может осуществляться также простейшим магнитным сепаратором. Транспортирование деталей и наполнителя осуществляется обычными конвейерами: ленточными, ковшовыми, скребковыми и т. д.

При вибрационной очистке отливок образуется большое количество отходов (пригар, формовочная смесь, окалина, абразивная пыль и т. д.). Эти отходы занимают значительный объем и образуют амортизирующий слой между наполнителем и отливками, что ухудшает режущие свойства наполнителя и снижает производительность процесса. Поэтому отходы обработки должны систематически удаляться из контейнера.

Существуют три способа удаления отходов: сухой (воздушный), мокрый (гидравлический) и естественный, осуществляющийся в течение всего процесса очистки. При сухом способе содержимое контейнера вибрационной установки периодически продувается сжатым воздухом под давлением (0,1–0,2) МПа, а пыль уносится в вентиляционную систему. Схема вибрационной установки, поясняющая сущность этого способа, приведена на рис. 13.19.

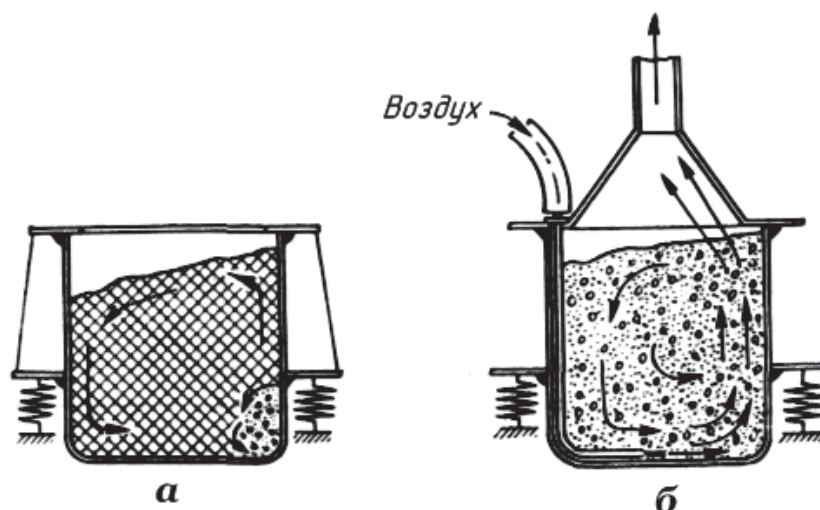


Рис. 13.19. Схема вибрационной установки:
а — без регенерации наполнителя; б — с регенерацией наполнителя

При отсутствии продувки наиболее мелкие фракции наполнителя концентрируются и совершают турбулентное движение в одной части контейнера (рис. 13.19, а). С помощью продувки удастся распределить мелкие фракции по всему объему наполнителя, как это показано на рис. 13.19, б. Это значительно улучшает условия обработки.

При мокром способе обработки промывка контейнера осуществляется в процессе работы специальным раствором.

Для естественного непрерывного удаления отходов очистки имеется ряд устройств. В большинстве случаев они выполняются в виде решеток, установленных в днище контейнера. Решетки могут иметь ряд поперечных щелей длиной 30 мм, шириной 1,5–2 мм с шагом 2–3 мм или отверстия диаметром 3 мм, расположенных в шахматном порядке. Решетки соединяются брезентовыми рукавами с пылесборниками. Эксплуатация виброустановок с непрерывным удалением отходов показывает положительные результаты.

Схема механизации процесса очистки представлена на рис. 13.20.

Непрерывная очистка отливок по схеме осуществляется за счет наклона контейнера и системы поперечных перегородок внутри контейнера. Меняя угол наклона перегородок, можно определять необходимое время очистки отливок.

Вибрационный способ очистки является весьма экономичным по сравнению с обработкой в галтовочном барабане. Применение вибрационной обработки повышает производительность труда: по сравнению с удалением заусенцев вручную — в 6–8 раз, а в галтовочных барабанах — в 4–6 раз.

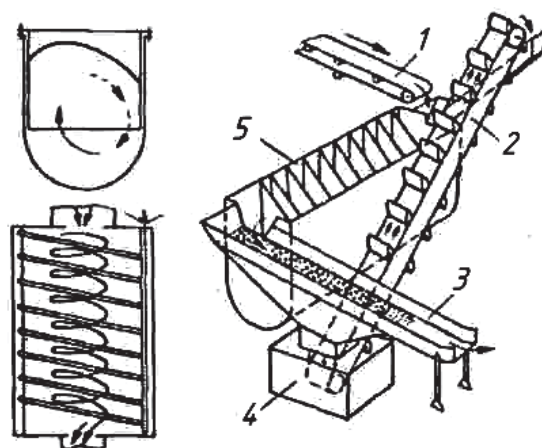


Рис. 13.20. Схема механизации вибрационной очистки отливок: 1 — конвейер подачи отливок; 2 — элеватор возврата наполнителя; 3 — вибросито; 4 — бункер для наполнителя; 5 — контейнер с перегородками

13.5.4. Гидроабразивная очистка

В настоящее время гидроабразивная очистка находит все более широкое применение для очистки поверхностей отливок, для зачистки швов после сварки и пайки, для очистки от коррозии и окалины, а также для подготовки поверхностей под гальванопокрытия, окраску и т. д.

Гидроабразивная смесь, приготовленная в специальных установках, затем с помощью различных аппаратов в виде струи подается на обрабатываемую поверхность. При этом либо обрабатываемая поверхность, либо аппарат перемещаются друг относительно друга. В качестве энергоносителя в аппарат подается сжатый воздух, который, увлекая абразивную жидкость, с большой скоростью выбрасывает ее на обрабатываемую поверхность. При ударах и скольжении абразивных зерен по обрабатываемой поверхности от последней отделяются инородные частицы и металл. Количество ударов по поверхности может достигать от 2×10^6 до 25×10^6 в секунду, что означает высокую степень обрабатываемости поверхности.

Если размеры неровностей обрабатываемой поверхности больше зерен абразива, то действию последних подвергаются не только выступы, но и впадины. Поэтому при обработке грубых поверхностей мелким абразивом вершины и впадины только скругляются, но не снимаются. Для получения повышенной чистоты поверхности необходимо, чтобы зерно перекрывало вершины смежных выступов.

Интенсивность обработки поверхности зависит от ее твердости, вязкости и структуры. Обработка поверхности заключается в изгибе и

срезе выступов или в истирании поверхности. Истирание происходит тем больше, чем сильнее зерно абразива прижато к поверхности нормальной составляющей и чем быстрее оно сможет переместиться под действием составляющей, направленной параллельно поверхности. При угле наклона струи 90° вся работа удара уходит на деформацию поверхностного слоя и самого абразивного зерна. При уменьшении угла наклона струи скорость движения абразивного зерна вдоль поверхности увеличивается, но эффективность обработки при этом уменьшается вследствие уменьшения нормальной составляющей. Наилучшие результаты получаются при угле наклона струи $30\text{--}60^\circ$.

Опыты показывают, что для обработки поверхности чугуновых отливок лучшие результаты дает песок фракции 1,5–2 мм, для стальных отливок – 0,5–0,8 мм, для алюминиевых и магниевых сплавов необходим металлический песок фракции 0,3 мм. Наличие острых граней у песчинок и способность их сохранять эту форму после раскалывания при обработке поверхности позволяет значительно увеличить их очищающее действие. Этот фактор определяет преимущество обработки песком по сравнению со сферической дробью.

Абразивная жидкость состоит из твердого абразивного материала, находящегося в жидкой среде во взвешенном состоянии. Действие абразивной жидкости на обрабатываемую поверхность зависит от свойств абразивного материала, концентрации последнего в жидкой среде и от степени химической активности жидкой среды. Жидкая среда служит для транспортировки абразивного материала от емкости-смесителя до обрабатываемой поверхности, а также для устранения пылеобразования и уменьшения истирания зерен абразива. Специальные растворы с добавлением поверхностно-активных веществ, проникая в микротрещины обрабатываемой поверхности, способствуют увеличению съема металла. Содержание поверхностно-активных веществ в растворе не должно превышать 1 %. Дальнейшее увеличение содержания поверхностно-активных веществ в растворе ухудшает чистоту обрабатываемой поверхности.

Поверхностно-активные вещества содержат сульфатный щелок, мылонафт и др. В качестве жидкой среды применяется вода и различные водные антикоррозийные растворы, предохраняющие детали установки и обрабатываемую деталь от окисления. Хороший результат дает 1-процентный водный раствор кальцинированной соды (Na_2CO_3).

Чем выше твердость абразивных зерен, тем медленнее происходит износ острых граней зерен и тем дольше сохраняются их режущие свойства. Наибольшей прочностью и способностью снимать металл обладают зерна, имеющие форму многогранника, приближающегося к форме куба.

При гидроабразивной обработке находят применение естественные абразивные материалы: корунд, наждак, кварц и др. Из искусственных абразивных материалов применяются карбид бора и кремния, электрокорунд, железный крокус. Карбид бора и кремния, электрокорунд являются дефицитными и дорогостоящими материалами. Поэтому в большинстве установок применяют кварцевый песок. Эффективность действия кварцевого песка, при прочих равных условиях, в четыре раза меньше электрокорунда, но и его стоимость значительно меньше. Удельный вес карбида кремния и электрокорунда $3,1\text{--}3,9\text{ г/см}^3$, а кварцевого песка $1,4\text{--}1,6\text{ г/см}^3$. Для классификации абразивных зерен применяются сита, последовательно расположенные на специальных рассевных аппаратах, от самых крупных по размерам ячеек до самых мелких. В процессе работы необходима периодическая замена измельченного и затупившегося абразива.

Из металлических песков наибольшее распространение получил чугунный песок. Однако при обработке деталей из нержавеющей жаропрочных сталей и сплавов, мельчайшие частички чугунного песка вкрапливаются в поверхность, и детали начинают быстро корродировать. Поверхность таких деталей после очистки при хранении в обычных комнатных условиях покрываются налетом, а при нанесении на нее влаги сразу же возникает обильная поверхностная коррозия, что не наблюдается при обработке кварцевым песком.

При обработке деталей из магниевых сплавов чугунным песком на поверхности детали наблюдается резко выраженная коррозия. Аналогичная картина наблюдается и на отливках из алюминия и его сплавов. Кроме того, к недостаткам чугунного песка следует отнести то обстоятельство, что, попадая в щели и карманы, он застревает, и впоследствии, попадая при работе во внутренние полости машины, вызывает аварии.

В большинстве случаев для отливок из цветных сплавов применяют кварцевый или алюминиевый песок, а для стальных отливок – стальной. Металлический песок применяется с размерами зерен от 0,4 до 2,7 мм.

13.5.4.1. Режимы и основные параметры гидроабразивной очистки

Основными параметрами гидроабразивной обработки поверхности отливок является количество абразива в гидроабразивной жидкости, количество жидкости, расход сжатого воздуха, давление воздуха, диаметр сопла, длина струи от сопла до отливки и производительность по съему металла с поверхности в единицу времени.

Обычно применяют количество абразива в жидкости в соотноше-

нии от 1 : 2 до 1 : 6 (по объему). Содержание абразива ограничивается невозможностью транспортировки к соплу суспензии с высокой концентрацией твердого; уменьшение же количества твердого в суспензии резко снижает производительность.

Количество или расход абразивной жидкости зависит от диаметра сопла и напора, под каким жидкость подается к соплу. Оптимальная скорость струи обеспечивается подбором диаметра сопла и давления воздуха. Как правило, диаметр сопла для подачи суспензии и диаметр выходного сопла принимают равными, так как при этом обеспечивается более надежная и эффективная работа установки.

Диаметры сопел подбираются опытным путем в каждом отдельном случае в зависимости от расхода суспензии и расхода воздуха. Рабочие сопла имеют диаметры от 4 до 15 мм (иногда до 20 мм). С увеличением длины струи при прочих равных условиях съем металла уменьшается. Длина струи должна устанавливаться с учетом вида обработки, давления в воздушной сети и необходимой площади обработки. При обработке поверхности отливок длина струи обычно принимается в пределах 70–80 мм, но не более 10 диаметров выходного сопла.

Сравнение производительности очистки при использовании металлических и кварцевых песков дано в табл. 13.10.

Таблица 13.10

Сравнение производительности очистных работ

Применяемый песок	Основное время обработки в мин		Производительность очистки в см ² /мин	
	металлическим песком	кварцевым песком	металлическим песком	кварцевым песком
Чугунный песок из стружки	0,78	0,55	144	206
Чугунный песок колотый из дробы	0,545	0,52	195	206
Стальной песок с 20 % Si	0,59	0,65	225	206
Стальной песок из стали ЭЯ1Т	2,12	1,27	85	142
Алюминиевый песок из стружки	1,52	1,38	155	183
Алюминиевый песок из расплава	1,77	1,34	137	183
Алюминиевый песок литой с 7 % Fe	0,55	0,39	128	183
Стальной песок с 13 % Si	0,59	0,65	225	206

Очистка производилась в пескоструйной камере типа Г-93А, сопла металломинералокерамические с диаметром отверстия 16 мм, давление воздуха – (0,35–0,4) МПа. Размер фракции песка 0,4–0,2.

Производительность при обработке различных отливок чугуном песком примерно равна производительности очистки кварцевым пес-

ком, а при очистке стальным песком несколько выше.

13.5.4.2. Установки для гидроабразивной очистки

Установки для гидроабразивной очистки поверхности отливок можно разделить по способу подачи абразивной жидкости или пульпы на следующие виды:

- установки, работающие по принципу подачи пульпы в сопло путем эжектирования;

- установки, работающие по принципу подачи пульпы в сопло путем выдавливания из сосуда сжатым воздухом под давлением (0,1–0,2) МПа без применения или с применением дополнительного эжектирования сжатым воздухом под давлением (0,5–0,6) МПа.

- установки, работающие на принципе подачи пульпы к соплу (или в промежуточный бак) центробежным или поршневым насосом под давлением (0,15–0,2) МПа (далее пульпа эжектируется воздухом или без эжектирования поступает в сопло);

- установки, работающие на влажном песке.

Установки для гидроабразивной очистки отливок и других изделий по конструкции можно разделить на три вида: 1) аппараты; 2) камеры и столы; 3) конвейерные камеры и барабаны.

Работа установок, основанных на принципе эжектирования, заключается в том, что в бункер, находящийся в нижней части камеры, заливается вода и в определенной пропорции засыпается абразив. Емкость бункера зависит от размеров камеры и вида обрабатываемого изделия. Снизу в бункер подводится сжатый воздух под давлением (0,2–0,3) МПа, служащий для поддержания абразивной жидкости во взвешенном состоянии. Качество перемешивания (барботирования) зависит от формы и конструкции перемешивающего устройства. Часто перемешивание осуществляется механическими мешалками.

При подаче сжатого воздуха в струйный эжекционный аппарат в камере смешения создается разрежение до $6,65 \cdot 10^{-5}$ МПа. Благодаря разрежению абразивная смесь засасывается из бункера и по гибкому шлангу поступает в струйный аппарат. В смесительной камере струйного аппарата происходит смешение абразивной жидкости со сжатым воздухом, сообщаемым жидкости кинетическую энергию. Увлекаемая воздухом абразивная жидкость вылетает из выходного сопла струйного аппарата со скоростью 50–70 м/сек. Отработанная жидкость стекает обратно в бункер. Цикл повторяется непрерывно. Смесь в бункере по мере загрязнения меняется (не реже двух раз в неделю) на новую. Отработанная смесь для предотвращения засорения канализации при замене

перекачивается в абразивоуловитель и шламоотстойник, а очищенная вода спускается в канализацию.

Простейшие камеры относятся к открытому типу, они предназначены для обработки крупных отливок. Рабочий производит обработку поверхности, находясь внутри камеры. Обработка отливок производится на поворотном столе. Эжекционный аппарат находится в руках у рабочего. Рабочий работает в скафандре. Камера представляет собой металлическую коробку с открытым верхом и бункером под металлическими решетками пола камеры.

Камеры полузакрытого типа отличаются от открытых тем, что рабочий, находясь вне камеры, ведет обработку поверхности отливок в проеме. Камера закрыта со всех сторон, кроме проема. Отливки размещаются на решетчатом поворотном столе.

На рис. 13.21 показана механизированная гидроабразивная камера закрытого типа.

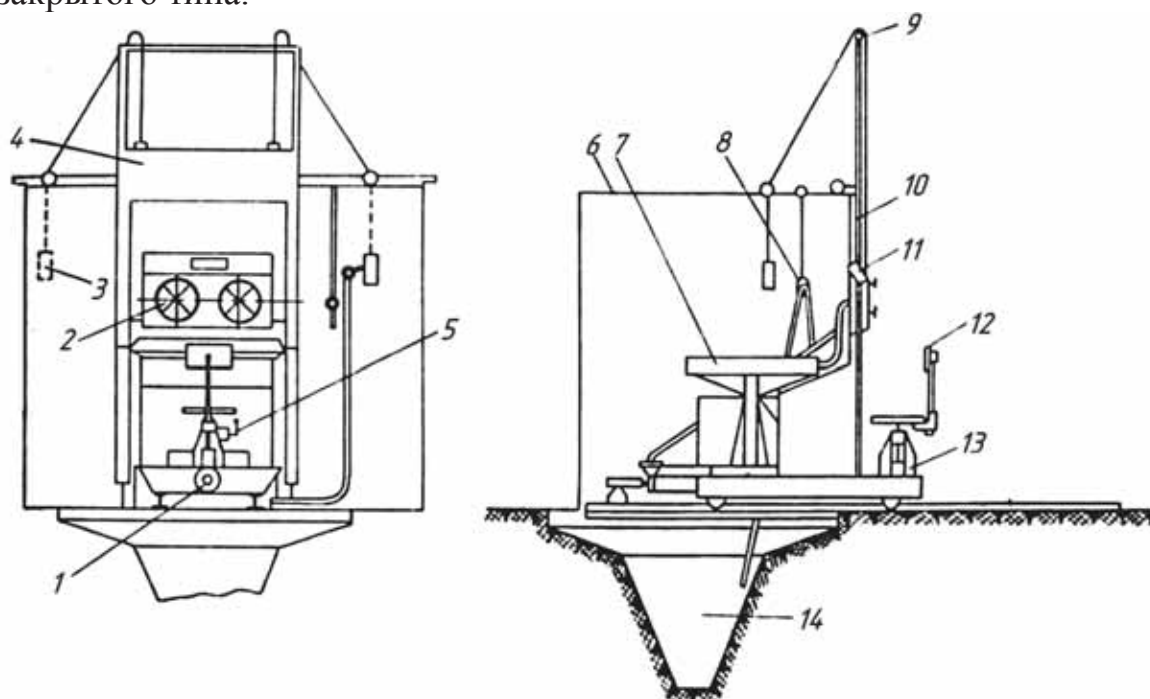
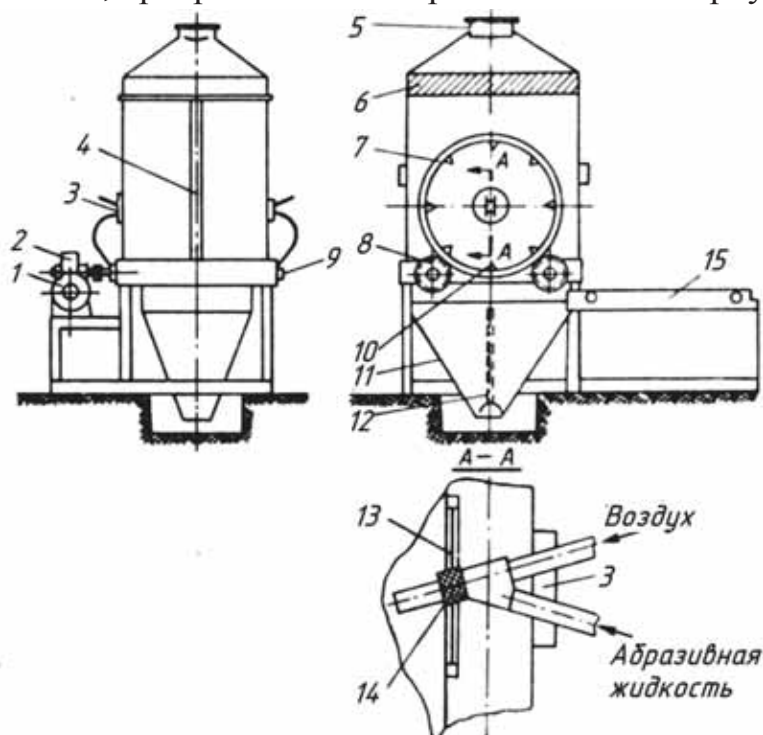


Рис. 13.21. Механизированная гидроабразивная камера закрытого типа

Обрабатываемая отливка помещается на подъемно-поворотный стол 7, смонтированный на подвижной тележке 13. Стол вместе с тележкой при помощи пневмоцилиндра 1 закатывается в камеру 6. На тележке имеется сиденье 12 для рабочего. Рабочий от камеры отделен специальными экранами 4 и 11, один из которых 11 укреплен на тележке 13 перед рабочим, а другой 4 подвешен на перед ней стенке камеры и может передвигаться в направляющих вверх или вниз под действием

На рис. 13.22 показан гидроабразивный барабан. Детали засыпаются в корпус барабана 10, изготовленного из перфорированной листовой стали. Барабан своими ободами опирается и вращается на роликах 8, которые приводятся во вращение от электродвигателя 1 через редуктор 2. В торцах барабана 10 имеются отверстия, в которые вставляются эжекционные струйные аппараты 14, прикрепленные на кронштейнах 3 к корпусу 7.



Из струйных аппаратов абразивная жидкость под углом направляется на отливки, находящиеся во вращающемся барабане.

Отработанная рабочая жидкость через отверстия в барабане стекает в бункер 11 и всасывающей трубой 9 вновь подается через сопло на по-

верхность отливок. Отверстия в барабане камеры и корпусе для установки струйных аппаратов защищены от выброса абразивной жидкости предохранительными кожухами 13. В верхней части барабана имеется отверстие 5 для подвода вытяжной вентиляции. Сепаратор 6 служит для улавливания частиц песка.

По окончании обработки по специальным направляющим под барабан вкатывается короб 15, имеющий перфорированное дно, в который высыпается из барабана отливки. После этого короб выдвигается, отливки убираются, а в барабан засыпается новая партия отливок. Скорость вращения барабана 1–3 об/мин.

Подача абразивной жидкости производится разными способами. На рис. 13.23 изображена схема установки для обработки поверхности отливок влажным песком. Установка состоит из верхнего 6 и нижнего 5 корпусов, образующих бункер, соплового диска 4, камеры гашения 2, трубопроводов 1, 3 и 7 для подачи сжатого воздуха и резинового шланга 9 с рабочим соплом.

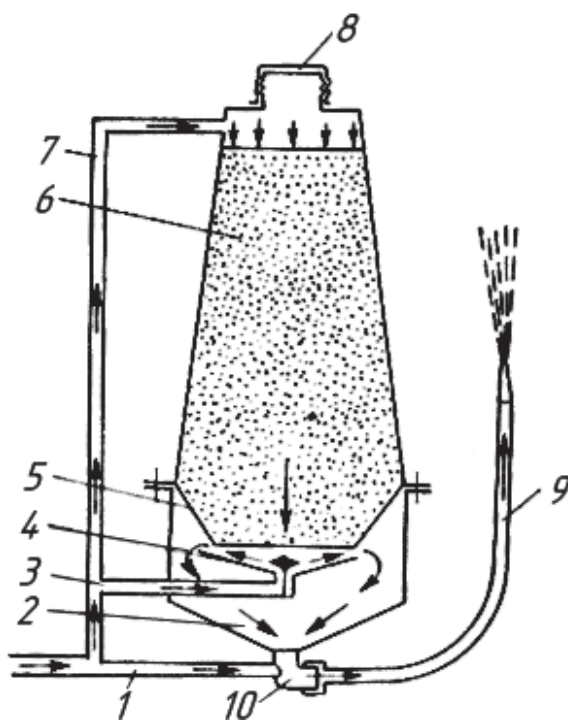


Рис. 13.23. Схема установки для обработки поверхности отливок влажным песком

Влажный песок загружается в бункер через верхнее загрузочное отверстие, после чего бункер плотно закрывается крышкой 8.

Под действием подаваемого по воздухопроводу сжатого воздуха и собственного веса влажный песок, находящийся в бункере, опускается на неподвижный сопловый диск 4, где новой струей воздуха, поступа-

ющей по воздухопроводу 3, отбрасывается к стенкам камеры гашения 2 и осыпается в нижний патрубок 10.

Сжатым воздухом, поступающим по воздухопроводу 1, влажный песок, находящийся в патрубке, увлекается в резиновый шланг 9, подающий песок к рабочему соплу установки, которое направляет его на очищаемую поверхность. Для устранения зависания песка в бункере применяются вибраторы.

На рис. 13.24 изображена схема установки работающей по принципу раздельной подачи смеси воздуха с песком и воды к соплу.

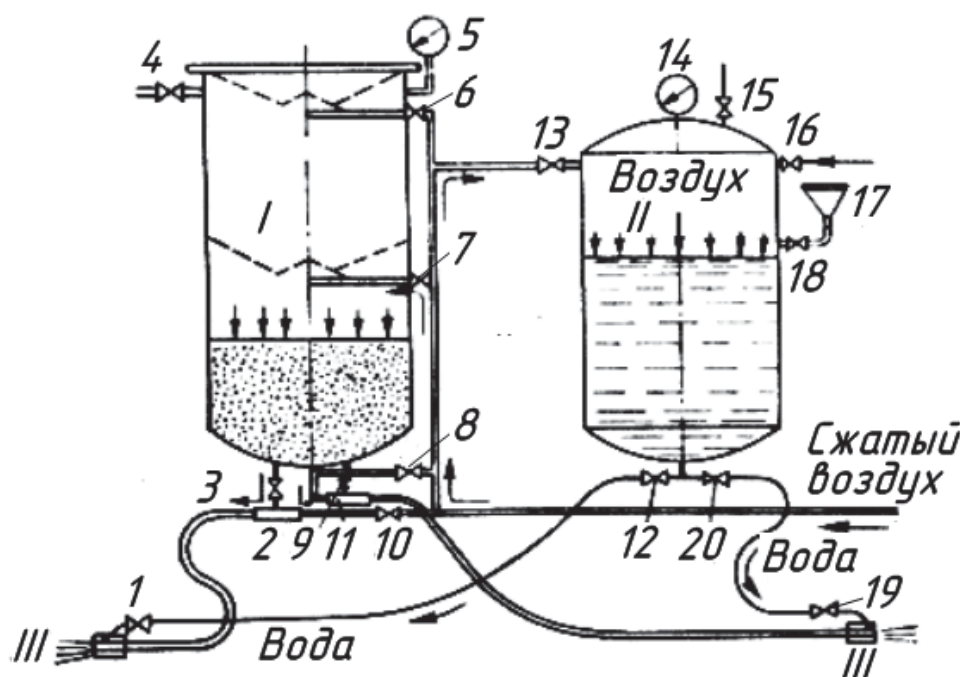


Рис. 13.24. Схема установки, работающей по принципу раздельной подачи смеси воздуха с песком и воды к соплу.

Установка состоит из двухкамерного пескоструйного аппарата I непрерывного действия, аккумулятора воды II, находящегося под давлением сжатого воздуха, и сопла III. Давление сжатого воздуха в пескоструйном аппарате и воды в аккумуляторе составляет 5–6 атм. и контролируется манометрами 5 и 14.

Песок загружается в двухкамерный пескоструйный аппарат, конструкция которого позволяет производить наполнение его без прекращения работы.

При закрытом вентиле 6 и открытом вентиле 4 давление в верхней камере снижается до атмосферного. После засыпки песка через верхний загрузочный корпус вентиль 4 закрывается, а вентиль 6 открывается. После выравнивания давлений в верхней и нижней камерах открывается нижний загрузочный конус, и песок поступает в нижнюю каме-

ру. При расходовании песка из верхней части бункера и в случае необходимости его наполнения без остановки процесса открывают вентиль 7, через который подается сжатый воздух. Под давлением воздуха происходит закрытие загрузочного конуса и выжимание песка из нижней камеры. Из нижней камеры песок через краны 3 и 9 поступает в смесители 2 и 11, где он подхватывается воздухом, поступающим через вентили 8 и 10, и подается в сопла, размещенные в распределительных камерах, а затем по резиновым шлангам смесь песка и воздуха поступает в центральную часть сопел III. Воду подают в аккумулятор II через вентиль 16. Для этого закрывают вентиль 13 и открывают вентиль 15 для выпуска воздуха. После того, как вода налита, закрывают вентили 15 и 16 и открывают вентиль 13, через который подается сжатый воздух. Вода под давлением сжатого воздуха подается через вентили 12 и 20 по резиновым шлангам с внутренним диаметром 16–19 мм и через вентили 1 и 19 к рабочим соплам.

Вода поступает в сопло по кольцевой щели. Песок проходит по центральному соплу. Смешение струй происходит при выходе из сопла.

Перекрывая кран 3 и открывая или закрывая вентиль 1, можно смывать очищенный участок водой или обдуть его воздухом.

Для предохранения от коррозии в резервуар с водой через воронку 17 вводят эмульсол, предварительно открыв вентиль 18.

13.5.5. Очистка отливок дробью

В зависимости от способа создания струи дроби (сжатым воздухом или рабочим колесом турбины) процессы очистки дробью получили названия дробеструйной и дробеметной очистки.

Для обоих способов очистки в качестве абразивного материала используется чугунная или стальная дробь размером от 0,2 до 4,5 мм. Применение для этой цели кварцевого песка в нашей стране запрещено, так как пескоструйный способ очистки отливок создает тяжелые санитарно-гигиенические условия труда.

13.5.5.1. Дробеструйная очистка

При дробеструйном способе очистки дробь разгоняется сжатым воздухом до скоростей 20–30 м/сек, при этом дробь проходит через сопло, образуя расходящийся пучок. Производительность дробеструйной очистки зависит от давления воздуха, диаметра и формы канала сопла, а также от стойкости материала сопла и расстояния от сопла до очищаемой поверхности.

Оптимальное расстояние от сопла до поверхности отливки составляет

200–300 мм. С увеличением расстояния от сопла до поверхности отливки сильное рассеивание дробы снижает производительность процесса очистки. Износ канала сопла приводит как к нарушению компактности струи дробы, так и к снижению производительности за счет падения давления сжатого воздуха, вызванного увеличением площади поперечного сечения канала.

В течение длительного времени единственным материалом, обеспечивавшим стойкость сопел в течение 5–8 ч, был отбеленный чугун. В настоящее время для изготовления сопел применяются металлокерамические сплавы ВК2, ВК6 и ВК8 (ГОСТ 3882), средняя стойкость которых составляет 200 ч.

Созданы конструкции сопла, в которых наиболее изнашиваемая часть выполняется в виде металлокерамической вставки. Корпус сопла выполняется из стали 15–35.

Основные размеры металлокерамических сопел в зависимости от размера дробы приведены в табл. 13.11

Таблица 13.11

Основные размеры металлокерамических сопел

Размер дробы в мм	Диаметр вставки в мм		Конусность внутренней по- лости вставки	Внутренний диаметр рукава в мм	Наружный диаметр гай- ки в мм
	внутрен- ний	наруж- ный			
До 0,8	6	20	1 : 10	25; 32	40; 45
0,8—1,0	8	22			
1,0—1,5	10	24			
1,5—2,5	12	26		32; 38	

На сопла с металлокерамическими вставками разработана нормаль МН 1066 – 60 «Сопла для дробеструйных аппаратов».

Дробеструйная очистка отливок позволяет получать высокую чистоту поверхности, однако область применения этого способа ограничена главным образом очисткой внутренних глубоких и сложных полостей. Это ограничение вызвано высокой энергоемкостью способа и запыленностью рабочего места. Кроме того, при дробеструйной очистке имеет место слипание и коррозия дробин, вызываемых наличием влаги в сжатом воздухе.

Расход энергии на 1 т очищаемых отливок при дробеструйной очистке примерно в 6 раз выше, чем при дробеметной. Ее главное преимущество – возможность направлять струю из сопла в любое место отливки, в том числе и во внутренние ее полости.

Широкое распространение получили двухкамерные дробеструйные аппараты модели 334М, изготавливаемые Усманским механическим заводом. Конструкция аппарата обеспечивает возможность одновременной работы двумя соплами.

Дробеструйный аппарат (рис. 13.25) состоит из нижней камеры 2, смонтированной вместе со смесителем 1, средней камеры 4, клапанов 3 и полости 6 приемной воронки 7. Аппарат выполняется в виде вертикально расположенного кожуха 5, внутри которого размещаются камеры и клапаны. На кожухе смонтированы трубопровод 9 и аппаратура сжатого воздуха (сетчатый фильтр, регулятор давления, влагоотделитель и т. д.). С помощью вентиля 8 верхняя камера соединяется с трубопроводом сжатого воздуха или атмосферой. Нижняя камера всегда наполнена сжатым воздухом.

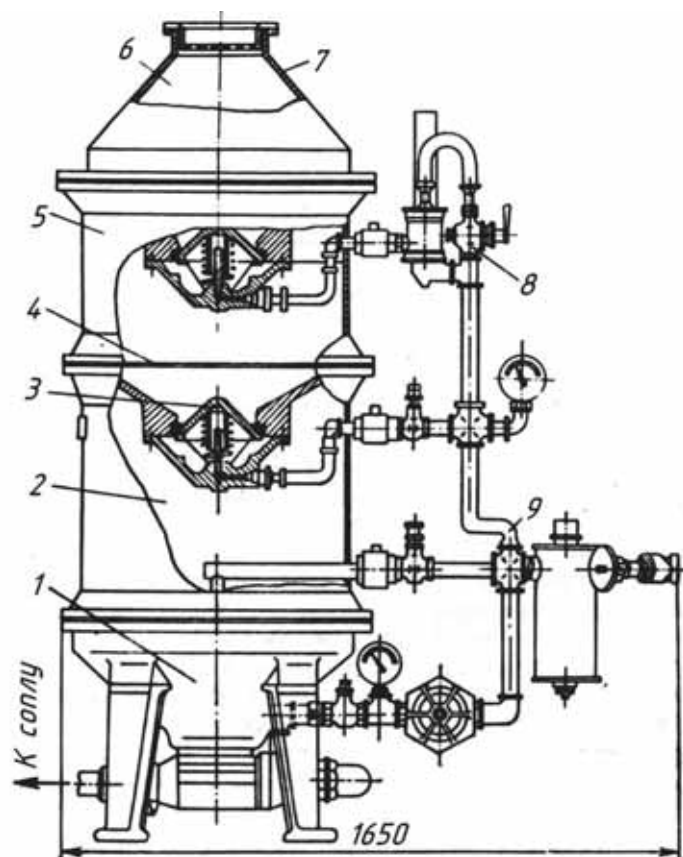


Рис. 13.25. Дробеструйный аппарат

Процесс загрузки аппарата дробью состоит в следующем. Дробь засыпается в воронку 7, обтянутую сеткой. Под действием веса дробы клапан опускается, и дробь пересыпается в среднюю камеру 4. После этого в камеру 4 подается сжатый воздух, который, во-первых, закрывает верхний клапан, а, во-вторых, помогает открывать нижний клапан. При этом дробь пересыпается в нижнюю камеру 2 и в смеситель 1. Вслед за этим среднюю камеру соединяют с атмосферой. Под действием давления воздуха в нижней камере клапан 3 закрывается. Дробеструйный аппарат приводится тем самым в исходное состояние и готов к приему очередной порции дробы.

Достоинством дробеструйного аппарата модели 334М является воз-

возможность сочетания непрерывной работы сопел и загрузки дробы в аппарат. К недостаткам этого аппарата следует отнести ручное управление загрузкой, а также невозможность контроля уровня дробы в камерах.

13.5.5.2. Дробеметная очистка

При дробеметной очистке, широко применяемой как в нашей стране, так и за рубежом, струя дробы создается лопатками рабочего колеса турбины. Работа дробеметного аппарата (рис. 13.26) состоит в следующем. Дробь из бункера 1 попадает в нагнетатель 3 и через окно направляющей втулки 4 выбрасывается в пространство между лопатками 2 ротора. Лопатки ротора разгоняют дробь и сбрасывают ее веером со скоростью 70–80 м/сек на очищаемые отливки.

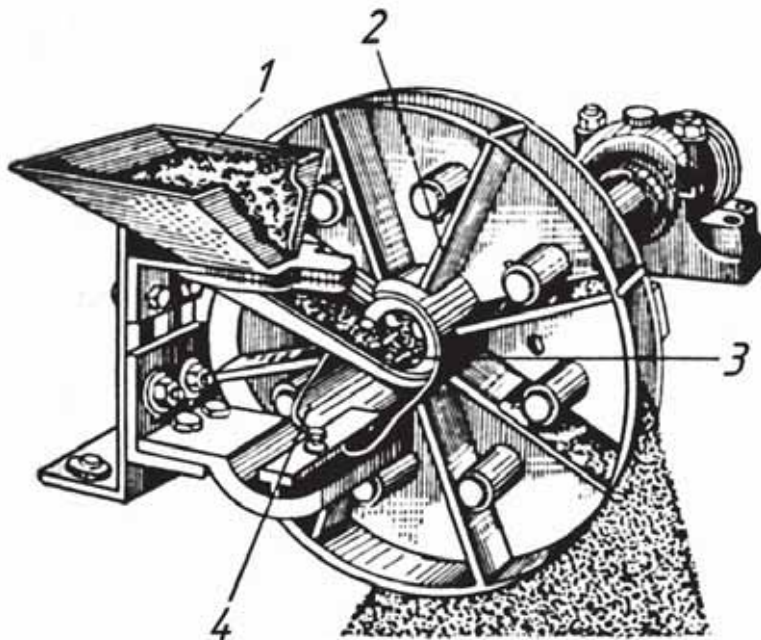


Рис. 13.26. Принципиальная схема работы дробеметного аппарата

Траектория движения дробы в аппарате (рис. 13.27) показана жирной линией, проходящей через точки *О*; *А*; *Б*; *В*; *Г* и *Д*. При этом дробь подается в отверстие крыльчатки нагнетателя 4 и попадает между его лопатками, которые выбрасывают дробь в отверстие 2 направляющей втулки 3. Дробь подхватывается внутренним краем лопатки 1. При этом происходит удар, так как разность скоростей лопатки и дробы велика, и направления движений почти совпадают. Это обуславливает ударное взаимодействие дробинки с лопаткой и дискретный характер движения дробинки по всей лопатке. Удар дробинки вызывает мгновенное повышение температуры в зоне удара, значительные деформации и снижение контактно-усталостной

прочности, что приводит к интенсивному износу лопаток.

Срок службы лопаток, применяемых на большинстве отечественных заводов, составляет не более 30 ч. Низкая эксплуатационная стойкость лопаток вызывает значительные простои оборудования из-за частой замены изношенных лопаток, а также большие расходы по их изготовлению. В нашей стране применяют покупные литые, термически обработанные чугунные лопатки Харьковского тракторного завода со стойкостью 200–250 ч. Однако срок службы этих лопаток – 250 ч – не следует считать пределом. Например, в Чехословакии стойкость лопаток достигает 600 ч, а в США и Японии доходит до 2000 ч.

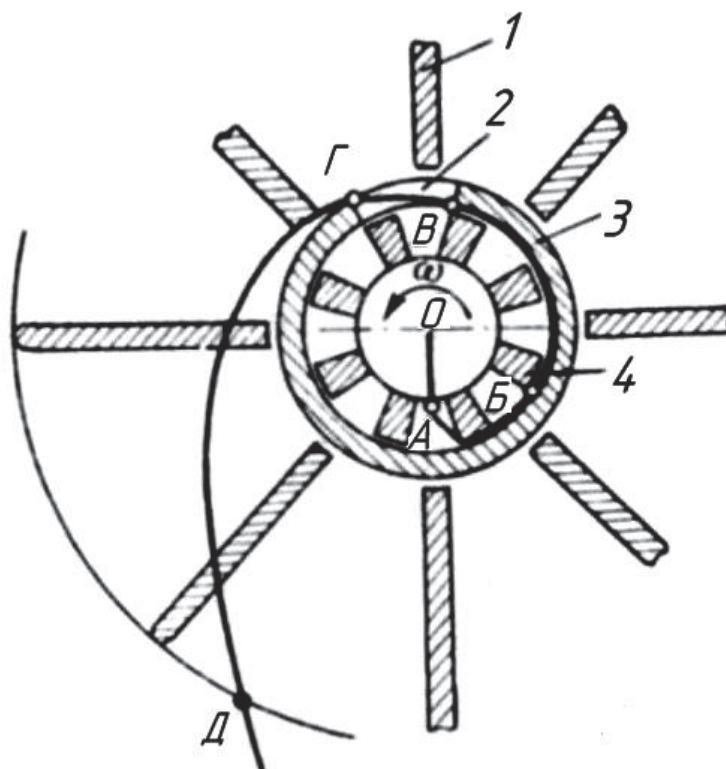


Рис. 13.27. Движение дроби в аппарате

Несмотря на низкую стойкость лопаток, дробеочисткой по сравнению с другими способами имеет следующие преимущества:

- производительность его в 10 раз выше, чем при дробеструйной очистке;
- расход энергии в 10 раз меньше, чем при дробеструйной очистке;
- имеется возможность регулировать скорость вылета абразивного материала из дробеочисточного аппарата путем изменения числа оборотов рабочего колеса;
- меньшая, чем при дробеструйной очистке, запыленность рабочего места.

Недостатком дробеочистки следует считать затрудненность очистки отливок сложной конфигурации.

Производительность дробеметной очистки так же, как и дробеструйной, пропорциональна количеству дробы, выбрасываемой аппаратом в минуту. Производительность отечественных дробеметных аппаратов составляет до 140 кг дробы в минуту, что в ряде случаев недостаточно. Японская фирма «Синтокогио» выпускает дробеметные аппараты мощностью до 75 квт и производительностью (по дробы) до 800 кг/мин при скорости вылета дробы 60 – 70 м/сек.

В нашей стране по ГОСТ 8665 предусматривается использование дробеметных аппаратов производительностью 220 и 350 кг/мин.

13.5.5.3. Дробь для очистки отливок

Дробь, используемая для очистки отливок, должна удовлетворять ряду требований, сложившихся на основе производственного опыта. Выпуск технической дробы производится пяти типов и 12 размеров.

Как показала практика работы литейных цехов, наиболее целесообразно при очистке мелких отливок деталей приборов применять дробь ДЧК (дробь чугунная колотая) и ДСК (дробь стальная колотая) размером 0,2–0,6 мм. При очистке мелких отливок автомобиле- и тракторостроения, а также средних и крупных отливок из цветных сплавов применять дробь всех типов размером 0,6–0,9 мм. При очистке машиностроительных отливок из чугуна и стали средних размеров и крупных отливок из цветных сплавов – дробь всех типов размером 0,9–1,6 мм; при очистке тяжелых отливок из чугуна и стали – дробь всех типов размером 1,6–4,5 мм.

При выборе типа и размера дробы следует иметь в виду также экономические соображения, так как дробь разных типов и размеров имеет разную стоимость изготовления и разную эксплуатационную стойкость как самой дробы, так и дробеметных лопаток (или сопел). В результате этого себестоимость процесса очистки будет разной. При этом следует учитывать, что уменьшение размеров дробы положительно влияет на качество покрытий поверхности отливок.

Дробь типа ДЧЛ (дробь чугунная литая) и ДСЛ (дробь стальная литая) размером до 4 мм используется непосредственно для очистки отливок, а также как исходный материал для изготовления дробы типа ДЧК и ДСК. Дробь типа ДЧЛ размером более 4 мм используется в буровой промышленности и для изготовления дробы типа ДЧК.

На специализированных заводах литую дробь получают путем выливания жидкого металла тонкой струей, падающей с определенной высоты на вращающийся барабан, погруженный в охлаждающую жидкость. Струя металла, падая на мокрую поверхность, разбивается на от-

дельные капли, затвердевающие в виде шариков.

Чугунная дробь, изготовленная таким способом, имеет следующий химический состав (в %): С 3,0–3,5; Si 1,5–2,0; Mn 0,4–0,7; S ≤ 0,12 P ≤ 0,5.

Колотую дробь получают путем дробления литой дроби в специальных многосекционных дробилках.

Несмотря на низкую себестоимость, по сравнению с другими металлическими абразивными материалами, литая чугунная дробь имеет ряд недостатков. Так, вследствие низкой ударной вязкости в процессе очистки происходит быстрое раскалывание дроби, что снижает эффективность очистки. Вследствие содержания большого количества мелочи (до 70 % от общей массы дроби) удельный расход дроби на 1 т очищаемых отливок возрастает. Обилие металлической пыли, насыщенность отбеленного чугуна весьма твердым карбидом кремния приводит к быстрому и неравномерному износу как сопел дробеструйного аппарата, так и лопаток дробемета. Многие из этих недостатков устраняются, если вместо круглой литой дроби применять колотую дробь (называемую иногда металлическим зернистым песком). Применение колотой дроби повышает эффективность очистки в 1,5–2 раза при снижении ее расхода в несколько раз.

За последнее время появились новые виды металлического абразивного материала. К ним относятся дробь из ковкого чугуна и дробь из обезуглероженного ковкого чугуна. Эти виды дроби имеют эксплуатационную стойкость в два раза выше, чем литая дробь из отбеленного чугуна, что с избытком покрывает разницу в стоимости. Меньшая твердость дроби из ковкого чугуна не отражается на производительности процесса очистки.

Крайне вредно на стойкость лопаток и других частей очистных установок влияет кварцевый песок, попадающий в дробь. Если в дробь попадает 2 % песка, износ лопаток увеличивается в 15 раз.

13.5.5.4. Установки для очистки дробью

13.5.5.4.1. Дробеструйные установки

В литейных цехах отечественной промышленности эксплуатируется ряд дробеструйных камер, различающихся как по размерам, так и по конструкции. Однако серийно изготавливаются лишь тупиковая дробеструйная камера периодического действия модели 361М.

Дробеструйная камера модели 361М (рис. 13.28) представляет собой закрытую металлическую конструкцию 1, внутренняя обшивка которой выполнена из стали толщиной 3 мм, покрытой резиновыми ли-

стами толщиной 10 мм. Передняя стенка камеры имеет проем для ворот, которые открываются и закрываются вручную.

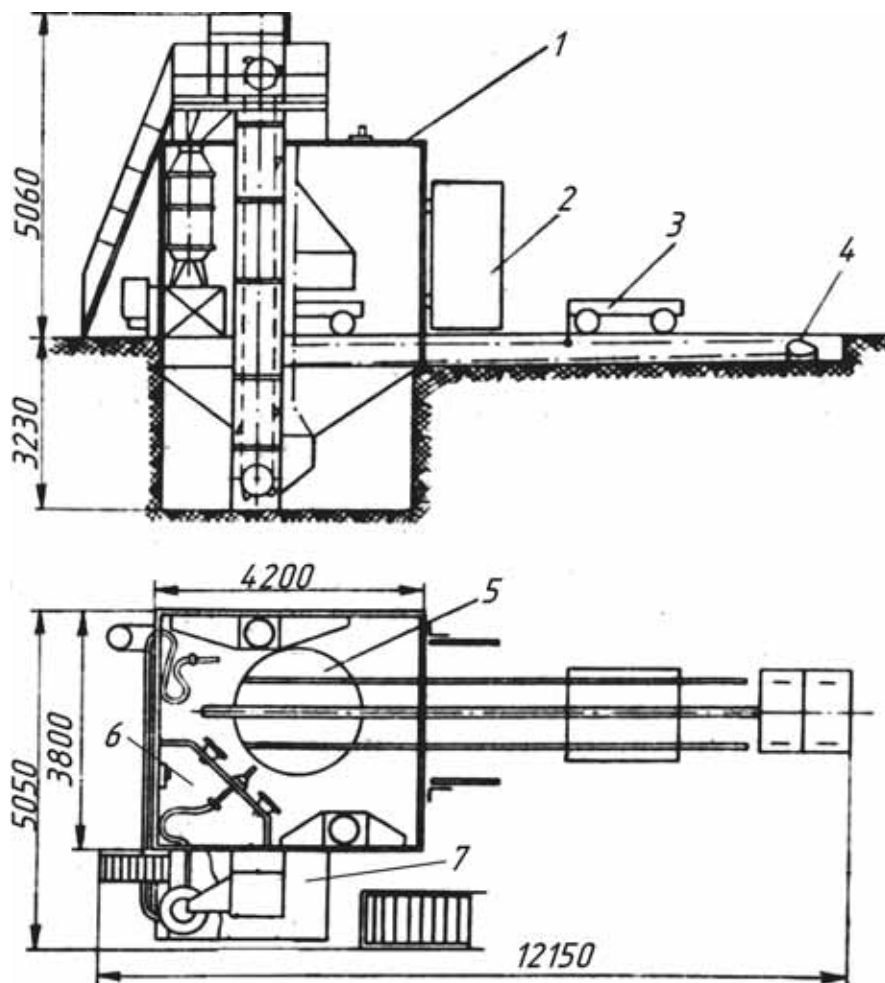


Рис. 13.28. Дробеструйная камера модели 361 М

Отливки, подлежащие очистке, укладываются мостовым краном на тележку 3, приводимую в движение электрифицированной канатной откаткой 4. Кабина 6 камеры представляет собой изолированное рабочее помещение, на передней стенке которого имеется быстросъемное смотровое окно и сопловой механизм. Сопловой механизм смонтирован на сферическом шарнире, угол поворота которого равен 100° . Поворотный стол 5 предназначен для вращения тележки с отливкой при очистке. Привод поворотного стола – электромеханический. Нижняя часть камеры выполнена в виде бункера, в котором собирается отработанная дробь и отходы очистки, провалившиеся сквозь решетчатый пол камеры и поворотного стола. В нижней части бункера установлен шнековый питатель, транспортирующий отработанную смесь и отходы очистки к элеватору 7. Благодаря тому, что шнековый питатель оканчивается враща-

ющимся ситом, мелкая фракция попадает в башмак элеватора, а крупные куски выбрасываются наружу.

Элеватор поднимает просеянный материал вверх и ссыпает его в воздушный сепаратор. Сепаратор представляет собой сварной короб с двумя отводными рукавами, один из которых присоединяется к вентиляционной системе. Внутри короба расположены планки-ступеньки, по которым скатывается дробь. При этом легкие частицы, т. е. разрушенные частицы дроби и пыль, подхватываются воздушным потоком и уносятся в вентиляционную систему. Дробь, пригодная для дальнейшего использования, по второму рукаву попадает в дробеструйный аппарат модели 334М, конструкция которого приведена на рис. 13.25. Из дробеструйного аппарата дробь по шлангу попадает в сопловой механизм. Управление работой дробеструйного аппарата производится дистанционно как из кабины, так и из камеры.

Очистка труднодоступных мест отливки осуществляется вручную. При этом рабочий, одетый в специальный защитный шлем, находится внутри камеры, конструкция которой обеспечивает подачу свежего очищенного воздуха в шлем рабочего дробеструйщика. Освещение внутри камеры обеспечивается двумя прожекторами, установленными на передней стенке кабины, и четырьмя лампами, расположенными на крышке камеры. Дробеструйная камера оборудована системой вытяжной вентиляции, которая отсасывает запыленный воздух из камеры. Во избежание аварий и несчастных случаев в электрической схеме камеры предусмотрены аварийные блокировки.

13.5.5.4.2. Дробеметные установки

Все серийно выпускаемое оборудование для дробеметной очистки отливок по конструктивно-технологическим признакам может быть разбито на следующие группы: 1) дробеметные барабаны периодического действия; 2) дробеметные барабаны непрерывного действия; 3) дробеметные очистные столы; 4) дробеметные камеры периодического действия; 5) дробеметные камеры непрерывного действия.

Дробеметные барабаны периодического действия предназначены для очистки мелких и средних отливок. Заводом Амурлитмаш выпускаются барабаны моделей 323, 324 и 326М, которые аналогичны по конструкции, но отличаются размерами и предназначены для очистки отливок различных весовых групп.

Барабан модели 323 (рис. 13.29) состоит из дробеметного аппарата 3, корпуса барабана 4 и 5, пластинчатого конвейера 1, шнекового конвейера 2, рамы скипового подъемника 8, направляющих 6, привода 7 скипо-

вого подъемника и короба скипа 9. Кроме того, установка содержит ряд узлов, обеспечивающих улавливание, возврат и сепарацию дробы.

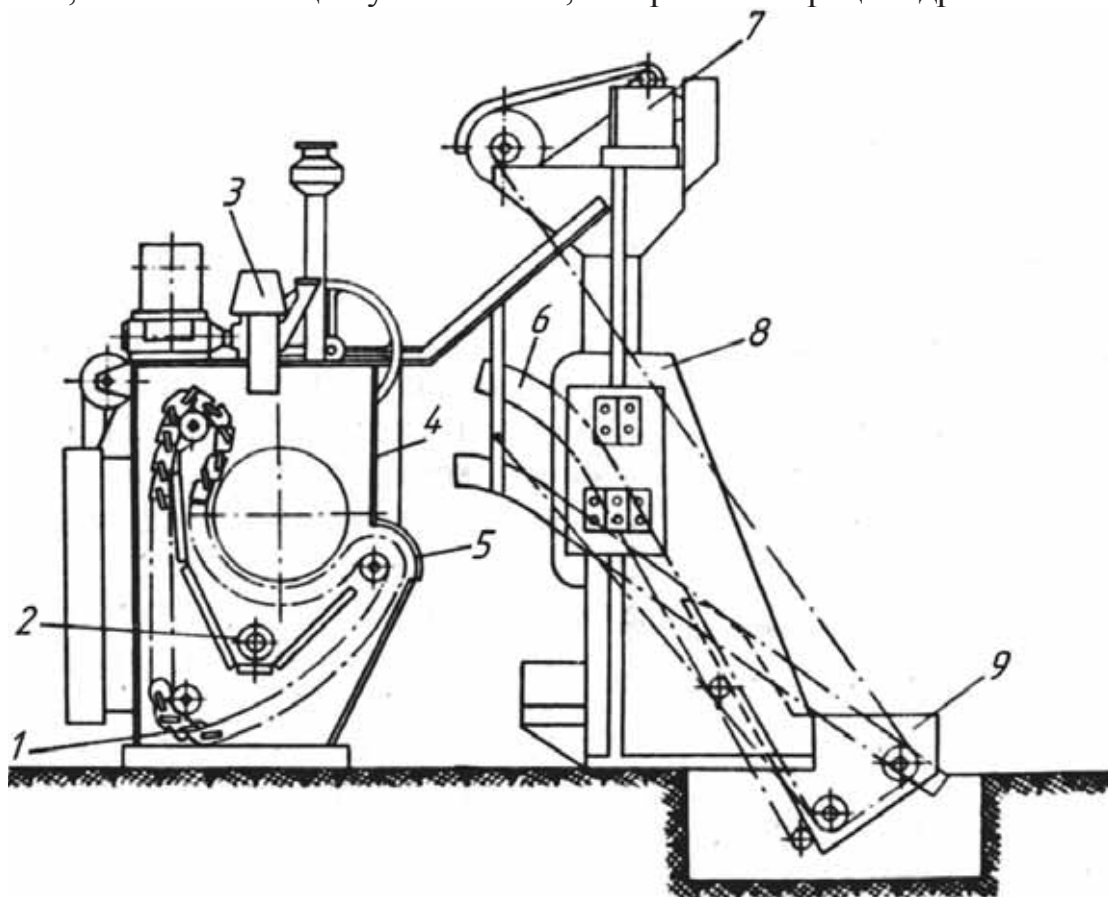


Рис. 13.29. Дробеметный барабан периодического действия модели 323

Пластинчатый конвейер 1, изготавливается из стальных пластин, в целях уменьшения размеров очищаемых отливок, иногда выполняется из резиновой ленты с выполненными отверстиями для прохода дробы.

Установка работает следующим образом (рис. 13.30). Дробеметный аппарат 3 выбрасывает поток дробы 12 на обрабатываемые отливки 14, которые последовательно оказываются под действием потока.

Выброшенная дробеметными аппаратами дробь вместе с отходами очистки и расколовшимися дробинками из полости 13 проваливается через решетчатый пол и собирается в бункере 15. На дне бункера установлен шнек 16, заканчивающийся барабанным ситом 1. Шнек через барабанное сито подает дробь и отходы очистки в приемную воронку элеватора 2. При просеивании через барабанное сито крупные включения отсеиваются от дробы и в воронку элеватора попадает только годная дробь и мелкие включения. Ковшевым элеватор поднимает дробь, которая попадает в приемную часть воздушного сепаратора 5, где происхо-

Diagram illustrating a mechanical device for processing granular material, labeled "Диско" (Disk) and "воздуха" (air). The device consists of a vertical frame (1) supporting a rotating disk (2) and a hopper (3). A vertical shaft (4) with a series of triangular elements (5) is connected to the disk. A horizontal arm (6) is attached to the shaft. A vertical pipe (7) with a valve (8) is connected to the arm. A horizontal pipe (9) with a valve (10) is connected to the pipe. A vertical pipe (11) with a valve (12) is connected to the pipe. A horizontal pipe (13) with a valve (14) is connected to the pipe. A vertical pipe (15) with a valve (16) is connected to the pipe. The device is shown in a cross-section view, with the granular material being processed.

Дробебетные барабаны моделей подобной конструкции имеют полуавтоматическую систему управления процессом очистки. Кроме того, к положительным элементам конструкции следует отнести наличие пластинчатого конвейера, обеспечивающего автоматическое кантование и выгрузку отливок, а также возможность встраивания барабанов в поточные линии очистки отливок. Наибольшую производительность обеспечивает барабан модели 326М до 7 т/ч.

Дробебетный очистной стол с периодическим вращением (модели

352 и 353) серийно изготавливается заводом Амурлитмаш и состоит из корпуса, стола и системы возврата дробы.

Корпус представляет собой сборную металлоконструкцию закрытого типа, в рабочей камере которого производится очистка отливок дробью. Сверху на корпусе крепятся два дробеметных аппарата. Стол установки оборудован тремя тарелками, на которые укладываются отливки для очистки. Стол периодически поворачивается (вокруг вертикальной оси) на 120° . При этом две тарелки с отливками оказываются в камере под дробеметными аппаратами, а третья тарелка находится снаружи камеры. На этой позиции производится установка, кантовка или снятие отливки после обработки. Конструкция стола обеспечивает возможность вращения тарелок во время очистки находящихся на них отливок.

Отработанная дробь просыпается через отверстия в тарелках и настиле стола в бункер, откуда при помощи шнека подается к ковшевому элеватору. Шнек заканчивается барабанным ситом, которое отделяет крупные частицы. Кроме барабанного сита, дробь проходит еще через плоское сито с более мелкой сеткой. Просеянную дробь элеватор подает в воздушный сепаратор. Очищенная дробь разделяется по дробеметным аппаратам. Количество дробы, подаваемое к аппаратам, может регулироваться степенью открытия секторных затворов, управление которыми осуществляется электромагнитами.

Установка может работать в трех режимах управления: пооперационном, полуавтоматическом и автоматическом. В пооперационном режиме длительность очистки определяется оператором. В полуавтоматическом и автоматическом режиме длительность обработки в пределах 10–240 сек, задается автоматикой установки.

Дробеметные камеры периодического действия предназначены для очистки крупных отливок. У нас в стране серийно изготавливаются дробеметные камеры моделей 372 и ДК-10М. В литейных цехах эксплуатируется ряд камер моделей 365, 367, 861. Эти камеры различаются между собой как по размерам, так и по конструктивному исполнению.

Дробеметная непроходная камера модели 365 предназначена для очистки отливок весом до 30 т. Камера представляет собой сварную конструкцию, стены, крыша и ворота которой с внутренней стороны защищены от ударов дробы резиновыми листами, подвешенными на крючках для удобства их замены. Дробеметные аппараты смонтированы на стенках камеры при помощи рам, позволяющих устанавливать аппараты под углом 20° относительно отсоса вертикальной оси. На крыше камеры установлены патрубки для запыленного воздуха.

Двухстворчатые ворота открываются и закрываются пневмоцилиндрами, закрепленными на стенках камеры, которая оборудована

зубчато-реечным механизмом открывания ворот на случай выхода из строя пневмоцилиндров.

Тележка имеет сварную раму, на которой укреплены оси с колесами. Сверху и с боку тележка защищена стальными листами. Перемещается тележка от электродвигателя через редуктор и цепную передачу. Тяговая цепь огибает ведущую звездочку, насаженную на вал, и натяжную звездочку. Концы цепи закреплены на тележке. В промежутке между звездочками цепь поддерживается роликами. Для защиты тяговой цепи от абразивного действия дробы и загрязнений предусмотрена уплотнительная коробка. Верхняя часть коробки защищена резиновыми листами.

Отработанная дробь и отходы собираются в приемные бункера, из которых абразивный материал поступает в башмаки двухленточных ковшовых элеваторов. В верхней части элеваторов смонтированы воздушные сепараторы, на сетке которых скапливаются крупные отходы очистки (комки смеси, отбитые литники, каркасы и т. п.). Сепарация дробы осуществляется с помощью воздушного потока. Дробь, годная к повторному использованию, по лоткам ссыпается в воронки шнековых конвейеров, которые подают эту дробь в дробебетные аппараты.

Дробебетная непроходная камера модели 367 предназначена для очистки отливок весом 70 т и отличается от камеры модели 365 размерами самой камеры и конструкцией механизма открывания и закрывания ворот. В камере модели 367 ворота выполнены подъемными с электромеханическим приводом, который более надежен в работе, чем пневмопривод. Использование подъемных ворот сокращает площадь, занимаемую камерой.

Дробебетная камера непроходного типа модели 861 предназначена для очистки отливок весом до 50 т и отличается от камеры модели 365 размерами камеры и системой возврата, сепарации и распределения дробы. Отработанная дробь и отходы ссыпаются через решетчатый настил пола в два приемных бункера, снабженных дверцами, для удаления крупных отходов с сеток вручную. В нижней части бункеров установлены шнековые конвейеры, на концах которых смонтированы барабанные сита для удаления крупных отходов. Просеянный абразивный материал поступает в распределительную коробку и через направляющие рукава – в элеваторы. Из элеваторов материал поступает в воздушные сепараторы, откуда годная для повторного использования дробь направляется к дробебетным аппаратам.

Дробебетная камера с поворотным кругом модели 372 предназначена для очистки отливок весом до 5 т (рис. 13.31).

Камера представляет собой сварную металлоконструкцию, обшитую с внутренней стороны съемными броневыми листами толщиной 8

мм. В местах прямого попадания дроби вместо броневых листов подвешиваются чугунные плиты. В камере установлены три дробеметных аппарата 11. В одной из стенок камеры имеется дверь 5. Ворота 7 камеры поднимаются по направляющим 6. Привод подъема ворот – от электродвигателя через червячный редуктор.

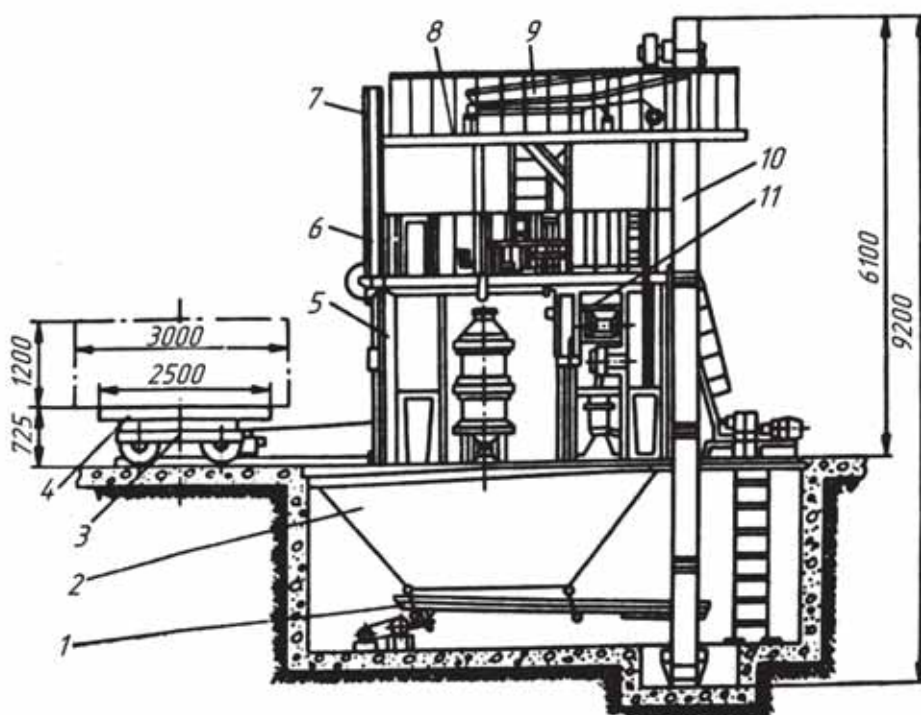


Рис. 13.31. Дробеметная камера с поворотным столом модели 372

Очистка отливок дробеметными аппаратами осуществляется на полуавтоматическом режиме. Для очистки труднодоступных мест предусматривается возможность ручной дробеструйной очистки отливок внутри камеры. Управление дробеструйным аппаратом осуществляется со специального пульта, находящегося в камере.

Бункер 2 предназначен для сбора отработанной дроби и отходов, которые трясунком 1 транспортируются к элеватору 10. Трясун снабжен решеткой, на которой остаются комья смеси, каркасы и т. п. Крупные отходы с решетки трясуна попадают в специальную емкость. Из элеватора дробь и мелкие отходы попадают на верхний трясун 9, который является одновременно и транспортером, и сепаратором. При сепарировании дробь разделяется на три фракции: дробь размером 2–5 мм идет в дробеметный аппарат; дробь размером 1–2 мм – в дробеструйный аппарат; мелкие частички размером меньше 1 мм ссыпаются в специальную емкость. Обслуживание механизмов ведется с площадки 8. Тележка 3

оборудована вращающимся столом 4. Движение тележки и вращение стола производится электродвигателем.

Дробеметная камера с поворотным кругом модели ДК-10 предназначена для очистки отливок весом до 3 т. Особенностью этой камеры является то, что на полу камеры расположен поворотный круг, вращающий во время очистки тележку вместе с отливкой. Кроме того, камера оборудована воротами на двух противоположных стенках, что делает ее проходной. Недостатками камеры являются ручное открывание и закрывание ворот, ручное перемещение тележки, ненадежность работы шнекового конвейера с барабанным ситом, малая производительность дробеметных аппаратов.

Дробеметные камеры непрерывного действия используются в крупносерийном и массовом производстве для очистки отливок массой до 300 кг (рис. 13.32).

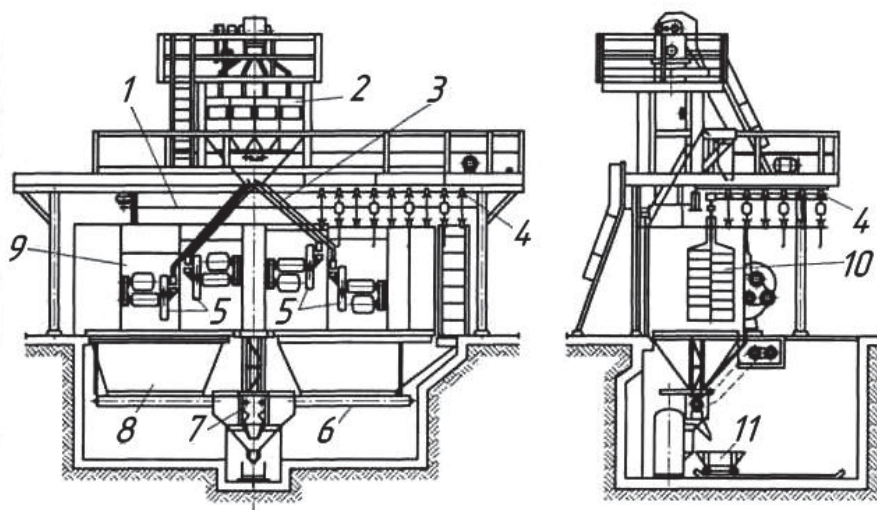


Рис. 13.32. Проходная конвейерная дробеметная камера: 1 – копир; 2, 3 – каналы подачи дробы; 4 – цепной конвейер; 5 – дробеметные аппараты; 6 – конвейер; 7 – сепаратор; 8 – сборник дробы и пригара; 9 – стенка камеры; 10 – защитные шторки; 11 – приемник для пригара

Внутри дробеметной камеры непрерывного действия движется подвижной цепной конвейер 4, на специальных подвесках которого помещены отливки.

На стенах камеры установлены четыре–шесть дробеметных аппаратов 5. Подвеска при движении вдоль фронта дробеметных аппаратов вращается, что позволяет установить аппараты с одной стороны камеры. Установка применяется в массовом производстве для очистки крупных отливок массой до 300 кг.

В последние годы появились дробебетные камеры с индивидуальными подвесками. На стене такой камеры также размещаются дробебетные аппараты, а отливка навешивается на крюк подвески. Однако здесь каждая подвеска имеет собственный привод.

После загрузки отливка на подвеске перемещается в камеру и останавливается напротив дробебетных аппаратов; вращение подвески соответствует заранее заданной программе, запрограммирована и продолжительность нахождения отливки в камере. Такие установки позволяют найти и осуществить оптимальный режим очистки для каждой отливки.

13.5.6. Огневая очистка

Огневой способ очистки и обрубки отливок находит за последнее время все более широкое распространение. Огневыми способами может производиться отрезка прибылей от отливок из обычных углеродистых сталей, хромоникелевых сталей, чугуна и цветных сплавов; удаление остатков прибылей, заливов, технологических приливов и напусков; удаление дефектов на отливках из обычных углеродистых и хромоникелевых сталей и чугуна; очистка отливок от окалина и пригара. К огневым способам очистки и обрубки отливок относятся:

- газокислородная резка;
- газопламенная очистка и обрубка;
- кислородно-флюсовая очистка и резка;
- газоэлектрическая очистка и резка.

13.5.6.1. Газокислородная резка

Процесс газокислородной резки основан на свойстве металлов и их сплавов сгорать в струе кислорода. Он состоит из четырех стадий, осуществляемых последовательно: нагрев начального участка резки до температуры воспламенения металла в кислороде; сгорание металла в струе кислорода; расплавление образующихся окислов и выдувание их струей кислорода из места резки; нагрев соседних слоев теплом, выделяющимся при сгорании металла.

Благодаря этому процесс резки происходит непрерывно при перемещении резака вдоль линии реза.

Газокислородной резке могут подвергаться металлы, удовлетворяющие следующим основным условиям:

- температура воспламенения металла в кислороде должна быть ниже температуры его плавления;
- температура плавления окислов металла должна быть ниже тем-

пературы плавления металла и окислы не должны быть вязкими;

- при сгорании металла в кислороде должно выделяться достаточное количество тепла для нагревания участков металла, прилегающих к месту реза, и поддержания непрерывного процесса резки;

- теплопроводность металла не должна быть высокой, иначе процесс резки будет неустойчивым;

- в металле, который подвергается резке, должно быть ограничено содержание примесей, препятствующих процессу резки (для стали, углерода, хрома, кремния и др.) и повышающих способность металла к закалке (молибдена, вольфрама и др.).

Перечисленным условиям удовлетворяет малоуглеродистая сталь. Для чугуна, высоколегированных сталей и цветных металлов и сплавов процесс газокислородной резки не применяется.

По назначению различают два основных вида резки: разделительную (для отрезки литников и прибылей) и поверхностную (для снятия излишков металла с отливок, выплавки дефектов и т. д.).

Резаки для кислородной резки классифицируются по способу подвода горючего газа, по назначению и по роду горючего.

По способу подвода горючего газа резаки делятся на инжекторные (наиболее распространенные), у которых смешивание газов происходит в центральной полости, и безинжекторные, у которых смешивание газа осуществляется в сопле. По назначению резаки делятся на универсальные, предназначенные для разделительной резки, и на резаки специального назначения.

По роду применяемого горючего газа резаки разделяются на ацетилено-кислородные, резаки для работы на газах, заменителях ацетилена (природном газе, пропан-бутановой смеси), и на резаки, работающие на жидком горючем (керосине, бензине).

По конструктивному исполнению различают двухшланговые и трехшланговые резаки. В первом случае поступающий кислород разветвляется на режущий и подогревающий в самом резаке, во втором случае режущий кислород подается по отдельному шлангу. Разделение подогревающего и режущего кислорода позволяет применять разное давление для этих двух потоков. Трехшланговый подвод газов осуществляется только на машинных резаках. Для ручной резки применяются двухшланговые резаки, так как наличие трех шлангов затрудняет работу резчика.

Для разделительной резки применяется резак «Пламя» инжекторного типа. Резак «Пламя» предназначен для кислородной резки малоуглеродистой и низколегированной стали. В качестве горючего в нем используется ацетилен.

Резак (рис. 13.33) имеет два ниппеля 4 и 5, рукоятку и корпус с вен-

тиями 6, 7 и 2 для регулирования, соответственно, количества подаваемого ацетилена, подогревающего и режущего кислорода. Смесительная камера 9 с трубкой 10 служит для подачи к резаку смеси ацетилена с подогревающим кислородом. Подача режущего кислорода осуществляется через трубку 1. Внутри смесительной камеры помещается инжектор с соплом 8. В головку резака ввертывают мундштук режущего кислорода и мундштук подогревающего пламени. Поступающий в ниппель 4 кислород разделяется в тройнике 3 и поступает к вентилям 2 и 7. Мундштуки резака подбираются в зависимости от толщины разрезаемого металла.

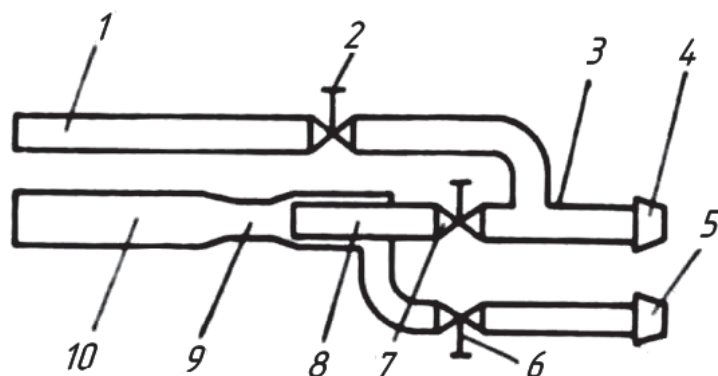


Рис. 13.33. Схема двухшлангового резака

Для резки стали различной толщины резак снабжен тремя внутренними и пятью наружными мундштуками. Резак перемещается вдоль разрезаемой поверхности с помощью тележки на двух роликах, позволяющей поддерживать постоянное расстояние между мундштуком и разрезаемым металлом.

В настоящее время промышленностью выпускаются усовершенствованные резаки «Пламя-62», отличающиеся от резака «Пламя» тем, что вентиль режущего кислорода расположен снизу корпуса; наружные мундштуки изготовлены с пятью и шестью отверстиями диаметром 1 мм, дающими многофакельное пламя, располагающееся вокруг выходящей струи режущего кислорода.

Разработаны конструкции резаков, действующих на заменителях ацетилена (РЗР-60, РК-62) и отличающихся увеличенным сечением каналов в корпусе и головке, что дает возможность подавать большое количество горючего газа. Скорость резки этими резаками не ниже скорости резки ацетиленокислородными резаками с соответствующими номерами мундштуков.

Для удаления пригара, заусенцев, заливов и небольших дефектов применяются резаки типа РПА-60, РПК-60 и РАП-60.

Подача режущего кислорода в резак происходит либо с помощью вентиля (резак «Пламя», РР-53), либо быстродействующим краном

(УР-49), либо с помощью рычажного клапана (РП-50).

От конструкции сопла режущего кислорода зависит не только расход режущего кислорода, но и качество поверхности реза. В настоящее время наибольшее распространение для режущего кислорода получили сопла с каналами цилиндрической и ступенчато-цилиндрической формы.

Режим кислородной резки характеризуется мощностью подогревающего пламени, давлением и расходом режущего кислорода, скоростью передвижения резака по поверхности разрезаемого металла и заданной шириной реза.

Мощность подогревающего пламени зависит от расхода горючего газа в единицу времени и от толщины разрезаемой стали. Она должна обеспечивать быстрый подогрев стали в начале резки до температуры воспламенения и необходимый подогрев ее в процессе резки.

Необходимое давление режущего кислорода зависит от толщины разрезаемой стенки, чистоты кислорода и формы режущего сопла. Оно изменяется при чистоте кислорода 99 % от 2 до 14 кг/см². Расход кислорода при этом колеблется от 2,6 до 42 м³/ч.

Скорость передвижения резака по поверхности разрезаемого металла определяет устойчивость процесса резки и ее качество. Малая скорость резки приводит к оплавлению разрезаемых кромок, а большая вызывает отставание кислородной струи и нарушение процесса резки.

Скорость ручной резки v определяется по формуле НИИ-автогена

$$v = \frac{40000}{50 + S} \text{ мм / мин}, \quad (34)$$

где S – толщина разрезаемой стенки в мм.

Ширина реза, применяемая при ручной резке стали, в зависимости от толщины разрезаемого металла имеет следующие значения:

ширина реза в мм	3–4,	4–5,	5–6,	6–8,	8–10;
толщина разрезаемого металла в мм	5–25,	25–50,	50–100,	100–200,	200–300.

С понижением чистоты режущего кислорода скорость резки уменьшается, а расход кислорода увеличивается. В среднем, при понижении чистоты кислорода на 1 %, время резки 1 пог. м стали увеличивается на 10–15 %, а расход кислорода – на 25–35 %.

Широкому распространению ацетиленокислородной резки прибылей отливок препятствует относительная дороговизна карбида кальция. Однако внедрение в промышленность дешевого и недефицитного природного газа значительно расширяет возможности распространения этого способа, тем более что резка с применением природного газа обеспечивает улучшение качества кромки, больше удовлетворяет требованиям техники без-

опасности. Природный газ для отрезки прибылей на отливках из углеродистой и низколегированной стали внедрен на ряде заводов. Максимальный диаметр отрезаемой при этом прибыли составляет 200 мм.

В качестве аппаратуры применяются как специальные резаки для резки с использованием газов – заменителей ацетилена типа УРЗ-49, РЗР-1-55, так и обычные ацетиленокислородные ручные или машинные резаки, в которых центральный канал инжектора должен быть увеличен до диаметра 1 мм, цилиндрическая часть канала смесительной камеры – до диаметра 3,5 мм. При кислородной резке природным газом рабочее соотношение кислорода и природного газа в смеси составляет 1,6 : 1.

13.5.6.2. Газопламенная очистка и обрубка

Газопламенная очистка стальных отливок заключается в их обработке ацетиленокислородным пламенем с применением и без применения режущей струи кислорода. Для очистки отливки, покрытые пригаром или окалиной, нагреваются, и в результате разности коэффициентов расширения оксидов и металла слой окалины и пригоревшей формовочной смеси разрушается, отделяется от поверхности отливки и сдувается. Газопламенная обрубка отливок (удаление заливов, приливов, остатков прибылей и заусенцев) является разновидностью поверхностной строжки и заключается в сжигании излишков металла в струе кислорода.

Для газопламенной очистки и обрубки применяются стандартные резаки типов РВП-50 и РАП-01-55, «Пламя» и другие, оснащенные специальными мундштуками (рис. 13.34).

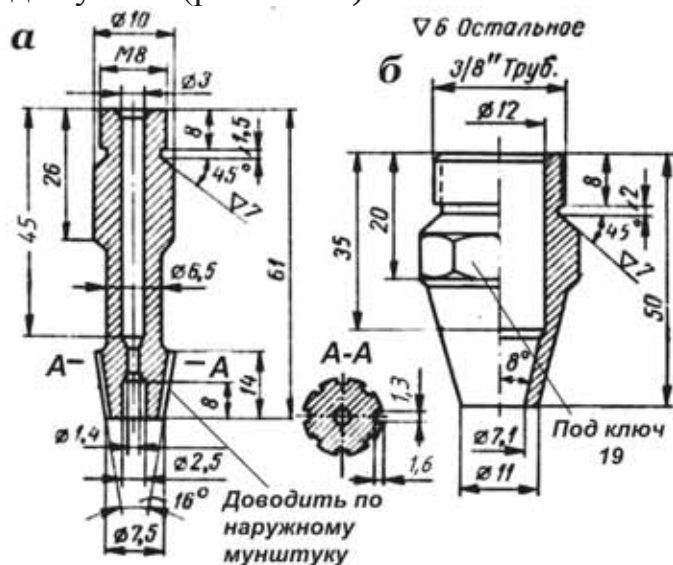


Рис 13.34. Специальные мундштуки для строжки к резаку «Пламя»: а – внутренний мундштук; б – наружный мундштук

Для концентрации подогревательного пламени коническую часть мундштука изготавливают с углом 16° и внутренний мундштук по отношению к наружному утопляют на 1,5–2 мм. Мундштуки изготавливают из латуни ЛС59-1. Конструкция инжектора и смесительной камеры резака «Пламя» для строжки на пропан-бутане такая же, что и для резки.

При очистке стальных отливок от окалины и пригара пламя резака должно касаться поверхности восстановительной зоной. Эта часть пламени имеет максимальную температуру, что обеспечивает резкий нагрев слоя оксидов при незначительном нагреве самого изделия. Оптимальный угол наклона пламени к очищаемой поверхности должен быть $75\text{--}90^\circ$. Для очистки от окалины применяется мягкое пламя. Рекомендуемое давление газов при этом составляет для кислорода – 4–6 ат (3,9–5,9 МПа), для ацетилена – 0,2–0,5 ат (0,19–0,49 МПа). К основным параметрам газопламенной обрубki относятся: мощность подогревающего пламени, угол наклона кислородной струи, скорость резки. Рекомендуемое давление газов для газопламенной обрубki: ацетилена – 0,5–1,0 ат (0,49–0,98 МПа), кислорода – 5–8 ат (4,9–7,8 МПа).

Подогревательное пламя должно быть нейтральным или слегка окислительным. В начале обрубki угол наклона мундштука к обрабатываемой поверхности должен быть $70\text{--}80^\circ$, а после подогрева поверхности он уменьшается до $25\text{--}5^\circ$. Движение резака может быть поступательным, поступательно-колебательным или вращательным с эллиптической траекторией. Расстояние от ядра подогреваемого пламени до поверхности отливки должно быть 10–15 мм.

При большом угле наклона и давлении режущей струи кислорода поверхность реза получается в виде ряда глубоких канавок, что нежелательно. Мундштуки с конусообразным и плоским щелевидным отверстием ($5\div 25$ мм) позволяют получить более ровную поверхность.

Резаки типов РВП, РП, РАП, оснащенные щелевидными мундштуками, дают ширину реза за один проход до 30 мм, толщину снимаемого слоя металла 4–6 мм, а в отдельных случаях до 10 мм.

При применении природного газа взамен ацетилена необходимо изготавливать специальный мундштук и сопла (рис. 13.35) для резака типа РАП-01-55

При обработке мундштук резака устанавливается почти перпендикулярно к поверхности отливки и находится на расстоянии не более 5 мм от нее. Давление кислорода должно быть 4–6 ат (3,9–5,9 МПа), природного газа – 0,4–0,5 ат (0,3,8–0,49 МПа). В случае удаления излишков металла давление кислорода увеличивают до 6–10 ат (5,9–9,8 МПа).

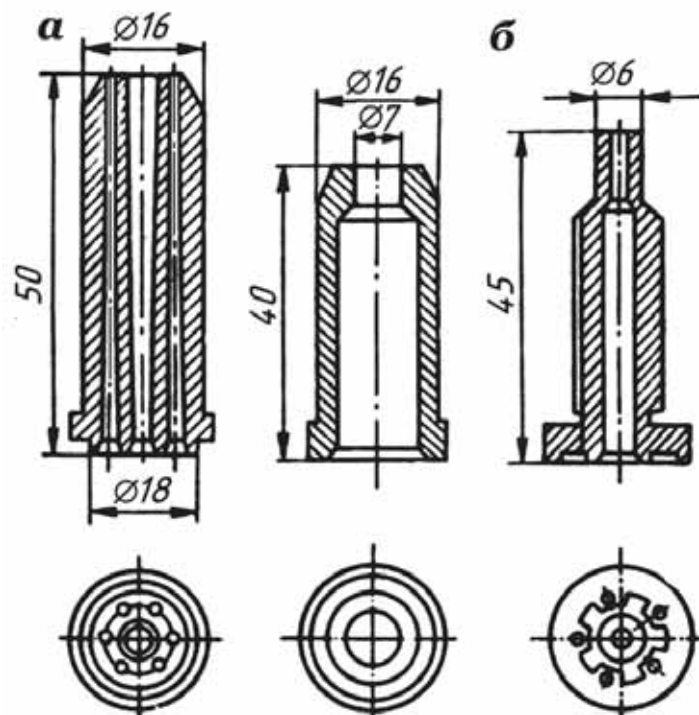


Рис. 13.35. Мундштук резака РАП-01-55: а – мундштук до усовершенствования; б – мундштук и сопло после усовершенствования

Газопламенная очистка отливок позволяет производить работу в 3–4 раза быстрее, чем пневматическими молотками при значительном улучшении чистоты поверхности отливок. Производительность труда обрубщиков увеличивается в 1.5–2 раза, а трудоемкость обработки отливок уменьшилась на 40–50 %. Расход кислорода составляет 6–7 м³ на 1 т литья, расход газа – 0,2–0,4 м³ на 1 м² очищенной поверхности.

13.5.6.3. Кислородно-флюсовая очистка и резка

Кислородно-флюсовая (газо-флюсовая) очистка отливок заключается в том, что в пламя и кислородную струю резака подается флюс, горение которого увеличивает тепловую мощность пламени и образует жидкотекучие шлаки оксидов железа. В результате совместного действия пламени и горячих жидкотекучих оксидов железа пригар расплавляется и отшлаковывается. Пригар частично удаляется давлением газового пламени, а частично остается на отливке в виде вздутого шлака, легко отделяемого при барабанной очистке.

Кислородно-флюсовая резка применяется для резки высокохромистых и хромоникелевых марок стали, чугуна, меди, латуни и бронзы. В случае углеродистых сталей кислородно-флюсовый

способ позволяет резать металл без предварительной подготовки места реза, что повышает производительность.

При кислородно-флюсовой резке наиболее рациональным является использование в качестве флюса мелкогранулированного железного порошка. Иногда для интенсификации процесса горения во флюс добавляют алюминий, так как при сгорании алюминия выделяется в три раза больше тепла, чем при сгорании железа. При резке хромоникелевых сталей оптимальной добавкой к железному порошку является добавка 15 % алюминия.

Для поверхностной зачистки нержавеющей сталей применяются флюсы, состоящие из 25 % алюминиево-магниевого порошка и 75 % силикокальция. При этом силикокальций действует на окислы хрома как флюсующая добавка.

Составы флюсов для кислородно-флюсовой резки и область их применения приведены в табл. 13.12.

Таблица 13.12

Составы флюсов для кислородно-флюсовой резки и область их применения

Номер состава флюса	Состав флюса в % вес.							Область применения флюса
	1	2	3	4	5	6	7	
1	100	—	—	—	—	—	—	Разделительная резка высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей и сплавов
2	80–90	—	10–20	—	—	—	—	
3	—	—	—	—	60–80	2040	—	
4	65–75	—	—	—	—	—	30–35	Разделительная резка чугуна
5	65–75	20–25	5–10	—	—	—		
6	70–80	—	20–30	—	—	—	—	Разделительная резка меди, латуни и бронзы
7	70–80	15–20	5–10	—	—	—	—	
8	70–75	—	15–20	—	—	—	10–15	
9	100	—	—	—	—	—	—	Поверхностная резка высокохромистой и хромоникелевой стали
10	—	—	—	70–75	25–30	—	—	

Примечания. В номерах колонок указано: 1 — железный порошок марки ПЖ2М–ПЖ5М; 2 — кварцевый песок; 3 — алюминиевый порошок марки АПВ; 4 — силикокальций марки КаСи-1 или КаСи-2; 5 — алюминиево-магний порошок марки ПАМ-2 и ПАМ-3; 6 — ферросилиций марки Си45; 7 — феррофосфор марки ФФ

Железный порошок изготавливается по ГОСТ 9849 и в зависимости от химического состава, т. е. от степени чистоты, разделяется на пять групп, условно обозначаемых буквами ПЖ и соответствующей цифрой (ПЖ1–ПЖ5).

По гранулометрическому составу железный порошок делится на четыре группы: крупный (К), средний (С), мелкий (М) и очень мелкий (ОМ). Для кислородно-флюсовой резки применяются только первые три группы железного порошка.

Железный порошок марки ПЖ5К и ГГЖ5С используется на установках типа УРХС-3 и УФР-2 при подаче его к соплу кислородом, а порошок марки ПЖМ от 1 до 5 групп – на установке типа УРХС-4. Первые три марки могут подаваться к режущему соплу только азотом или сжатым воздухом, а порошок марки ПЖ4М и ПЖ5М – кислородом.

Установка для кислородно-флюсовой резки состоит из флюсопитателя и резака. В зависимости от состава применяемого флюса и способа его подачи к резаку флюсопитатели разделяются на пневматические, вибрационные и механические.

В пневматическом флюсопитателе флюс из бачка подается в инжекторно-регулирующее или циклонное устройство, к которому поступает кислород, воздух или азот и увлекает его к резаку. Флюсопитатели вибрационного типа состоят из бачка и вибрационного устройства. Флюс в этом случае из бачка падает в вибрационное устройство, где подхватывается струей кислорода и уносится к резаку. Механические флюсопитатели снабжены шнековыми устройствами, при помощи которых флюс из бачка по шлангу и трубкам подается к головке резака, где увлекается струей режущего кислорода.

Резаки для ручной и машинной кислородно-флюсовой резки отличаются от резаков для обычной кислородной резки тем, что они имеют дополнительные узлы для подачи флюса. За последние годы для кислородно-флюсовой резки разработан ряд установок, работающих преимущественно по следующим схемам (рис. 13.36).

В схеме двойной инъекции флюса (установка УРХС-3) конструкции (рис. 13.36, а) мелкогранулированный железный порошок из бачка 1 подается в инжекторно-регулирующее устройство 2, к которому поступает кислород, увлекающий порошок к резаку 3. Поступающий к головке резака кислород под высоким давлением инжектирует кислородно-флюсовую смесь и, смешиваясь с последней, образует режущую струю.

В схеме однопроводной подачи флюса под высоким давлением (рис. 13.36, б) железный порошок из бачка 1 инжектируется непосредственно струей режущего кислорода. Смесь флюса с режущим кислородом по шлангу подводится к резаку 2 и через центральный канал мунд-

штука поступает к разрезаемому металлу.

В схеме механической подачи флюса (рис. 13.36, в) флюс, состоящий из смеси алюминиево-магниевого порошка с силикокальцием, из бачка 1 при помощи шнекового устройства 2 подается к головке резака 3, где увлекается струей режущего кислорода.

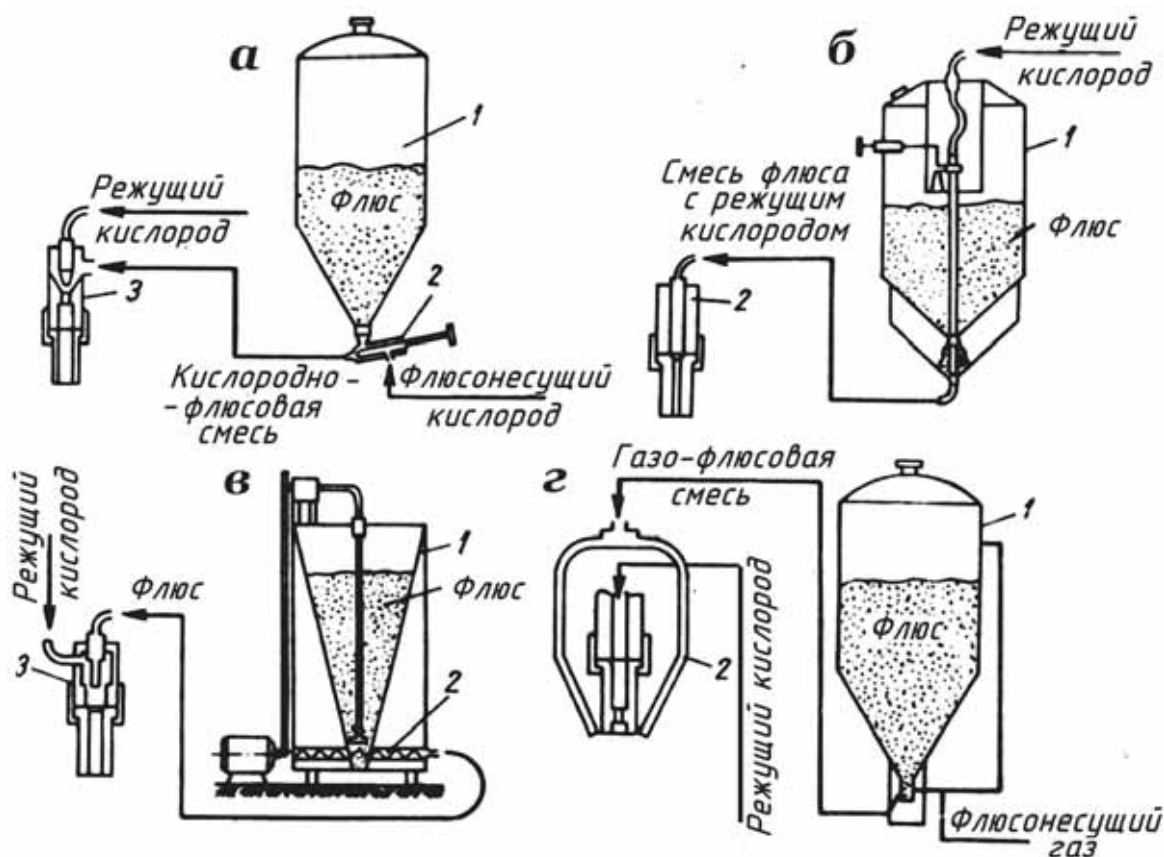


Рис. 13.36. Схемы установок для кислородно-флюсовой резки: а — с двойной инжекцией флюса; б — с подачей флюса под высоким давлением; в — с механической подачей флюса; г — с внешней подачей флюса

В схеме внешней подачи флюса (рис. 13.35, г) железный порошок кислородом, воздухом или азотом подается из бачка 1 к обычному резаку, укомплектованному специальным приспособлением ОКФ 2. Приспособление ОКФ состоит из пускового устройства, служащего для включения и выключения подачи кислородно-флюсовой смеси в резак, и дополнительной головки с инжектором и флюсонесущей трубкой, через которую к резаку подводится кислородно-флюсовая смесь. Кислородно-флюсовая смесь, выходя из отверстий приспособления, засасывается через подогревающее пламя резака струей режущего кислорода и в смеси с ним поступает к металлу. Установка для кислородно-флюсовой

резки УРХС-3 состоит из флюсопитателя типа ФП-3 и специального резака типа РКФ для разделительной резки.

Флюсопитатель ФП-3 состоит из трех основных узлов: бачка для флюса, инжекторно-регулирующего устройства и редуктора. Все узлы флюсопитателя смонтированы в общем каркасе. Маховики управления вентилями и инжекторно-регулирующим устройством, нажимной винт редуктора, а также манометр, показывающий давление флюсонесущего кислорода, выведены на переднюю стенку каркаса.

Бачок представляет собой сварной сосуд, вмещающий до 20 кг флюса. К верхней крышке корпуса бачка приварена горловина, через которую его наполняют флюсом. Нижний конус бачка заканчивается штуцером с ниппелем, образующим промежуточную камеру, в которую флюс сыпается из бачка. Назначение промежуточной камеры – обеспечить постоянный запас флюса перед инжекторным устройством.

Избыточное давление в ниппеле сбрасывается в бачок. Во избежание повышения давления выше допустимого бачок имеет предохранительное устройство (разрывную мембрану из бумажной кальки), смонтированное на колпачке горловины.

Резаки РКФ предназначены для кислородно-флюсовой резки высокохромистых сталей, чугуна и сплавов меди при работе на ацетилене. Принципиальное отличие резаков РКФ от резаков для обычной кислородной резки заключается в том, что в головке резака помещен дополнительный инжектор, к которому подводится кислород высокого давления, а по отдельной трубке – кислородно-флюсовая смесь. Для предохранения мундштука от износа, вследствие абразивного действия флюса, в центральный канал мундштука вставляется сменная втулка. Включение и выключение подачи кислородно-флюсовой смеси к головке резака производится пусковым устройством, расположенным на флюсонесущей трубке резака.

Для ручной поверхностной резки высокохромистых сталей используется резак типа РПКФ-3. По устройству он аналогичен с резаком типа РКФ для ручной разделительной резки.

Установка УРХС-3, работающая по схеме двойной инжекции флюса, может быть сравнительно просто переоборудована в установку, работающую по схеме внешней подачи флюса.

Для получения удовлетворительной поверхности реза и наибольшей производительности при поверхностной резке следует строго выдерживать расстояние a от мундштука до обрабатываемой поверхности. Расстояния a в зависимости от угла наклона мундштука φ приведены ниже:

a	20,	25,	30,	45;
φ	8–10,	14–18,	18–28,	32–45.

При меньших расстояниях производительность процесса резки заметно снижается.

В начале резки мундштук резака устанавливается под углом 70° к поверхности металла. После того, как металл будет прогрет до температуры ярко-белого каления, угол между мундштуком и поверхностью металла уменьшают до нормального.

Поверхностная кислородно-флюсовая резка может быть использована при очистке поверхности отливок от пригара, а также при удалении заливов, приливов, излишков металла, дефектных включений и т. д. В этом случае используется способ резки «елочкой», позволяющий за один проход обрабатывать значительную по ширине поверхность металла. При резке «елочкой» мундштуку придают колебательные движения над обрабатываемой поверхностью. Угол между поверхностью и струей кислорода должен составлять $20\text{--}35^\circ$, а расстояние между соплом и зоной реакции должно быть $60\text{--}70$ мм.

Кислородно-флюсовая резка с использованием в качестве флюса железного порошка позволяет разрезать чугуны изделия с глубиной реза до 300 мм за один проход. Во избежание появления трещин и отбела, необходимо перед резкой предварительно подогреть отливку или резать ее в еще не остывшем состоянии.

При отрезке прибылей качество реза не имеет существенного значения. В этом случае целесообразно надрезать прибыль на глубину 30–100 мм и затем отделять ее инструментом, или приспособлением ударного действия. Применения надрезки прибылей и литников увеличивает производительность в 1,5–2 раза. При кислородно-флюсовом надрезе резак наклоняют под углом $20\text{--}60^\circ$ к вертикальной плоскости.

13.5.6.4. Газоэлектрическая очистка и резка

За последнее время в промышленности получили широкое распространение различные способы электродуговой обработки металла. Резка с использованием электрической дуги имеет следующие разновидности: 1) дуговая резка стальным электродом; 2) дуговая резка угольным электродом; 3) кислородно-дуговая резка; 4) воздушно-дуговая резка; 5) плазменно-дуговая резка.

Три последних способа резки металла можно объединить под общим названием – газоэлектрическая резка.

При всех видах газоэлектрической резки для нагрева и расплавления обрабатываемых металлов используется тепло электрической дуги, а струя газа либо оказывает механическое действие, выдувая расплавляемый металл из полости реза (воздушно-дуговая резка), либо защищает

поверхность реза от окисления и оказывает существенное влияние на формирование дугового разряда (плазменно-дуговая резка).

Воздушно-дуговая резка металлов в нашей стране применяется с 1956 г. Простота и возможность обработки металлов, не поддающихся резке ацетилено-кислородным пламенем, способствовали широкому распространению этого метода. Сущность метода состоит в том, что расплавленный электрической дугой металл выдувается струей сжатого воздуха из зоны горения дуги. Этим способом можно производить разделительную резку и поверхностную строжку конструкционной углеродистой и легированной стали, чугуна, алюминия, меди, удаление дефектов отливок, подготовку кромок под сварку, удаление пригара. Резка и строжка ведется электрической дугой как постоянного, так и переменного тока. Для резки углеродистых и нержавеющей сталей применяется постоянный ток обратной полярности. Для цветных металлов и чугуна более целесообразно применение постоянного тока прямой полярности или переменного тока.

Для воздушно-дуговой резки металла необходимо иметь резак, источник питания электрической дуги, сжатый воздух и угольные или графитовые электроды. Резаки для разделительной резки и поверхностной строжки указанным способом отличаются друг от друга схемой подачи воздуха в зону расплавленного металла и способом зажима угольного электрода. На рис. 13.37 показан резак с боковой подачей воздуха в зону горения дуги и держателем пружинного типа.

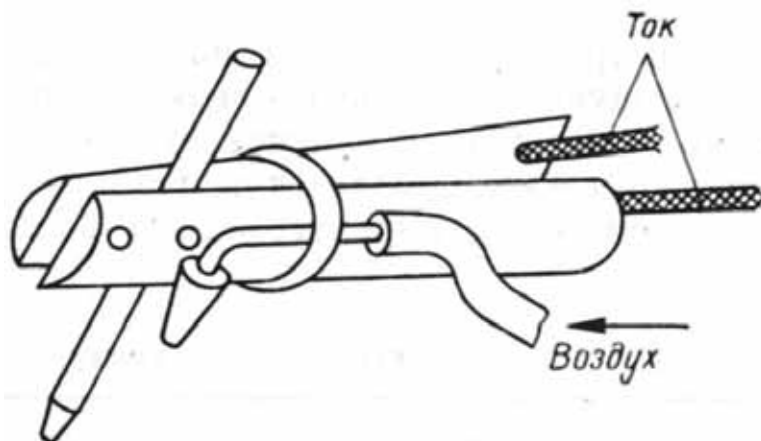


Рис. 13.37. Резак с боковой подачей воздуха

По взаимному расположению воздушной струи относительно электрода резаки делятся на резаки с последовательным и кольцевым расположением воздушной струи. Первые из них получили наиболее широкое распространение в отечественной промышленности. Серийно выпускаются резаки типов РВД-1-58 и РВД-2-58.

Резак типа РВД-1-58 предназначен для поверхностной и разделительной резки и рассчитан на длительную работу угольными электродами диаметром от 6 до 12 мм при токе до 300 а. При кратковременной работе сила тока может быть повышена до 500 а. Конструкция резака допускает применение как цилиндрических, так и пластинчатых электродов. Резак состоит из головки с контактной губкой, в которой имеются два отверстия для выхода сжатого воздуха, прижимного рычага, посредством которого электрод прижимается к контактной губке, и бумажно-бакелитовой рукоятки, внутри которой проходят воздухо- и токопроводы. На рукоятке расположен запорный вентиль для подачи сжатого воздуха. Резак может резать металл только в направлении справа налево.

Конструкция резака типа РВД-2-58 позволяет осуществлять как правую, так и левую резку. Переход от одного направления резки к другому обеспечивается его поворотом на 180°. Резак снабжен также щитком для защиты руки резчика.

Наиболее широкое применение получили резаки типа РВД с последовательной подачей воздуха. Ручной воздушно-дуговой резак типа РВД-4-62 рассчитан на работу цилиндрическими электродами при токе до 300 а (при непродолжительной работе сила тока может быть повышена до 500 а). Резак снабжен поворотной головкой, наличие которой позволяет устанавливать электрод под любым углом к поверхности обрабатываемого металла.

Наряду с резаками типа РВД в промышленности получили применение резаки с кольцевым расположением воздушной струи относительно электрода. Процесс резки такими резаками может осуществляться в любом направлении по отношению к резчику.

Существенным недостатком конструкции таких резаков является применение цангового зажима электрода, вследствие чего на перестановку и закрепление электрода затрачивается больше времени, чем в резаках с рычажным зажимом.

В резаке (рис. 13.37) электрод зажимается с помощью рычажной губки 2, а воздух в зону горения дуги подается по трубке 5 и неподвижной токопроводящей губке 1 с тремя отверстиями диаметром 1 мм. Резак имеет воздушный вентиль 4 и предохранительный защитный козырек 3.

Для резки на переменном токе применяются сварочные угли диаметром не менее 10 мм и длиной 250 мм, или графитовые электроды соответствующего диаметра. Для резки на постоянном токе наиболее целесообразно использование омедненных угольно-графитовых электродов диаметром 6–12. Эти электроды характеризуются повышенным сроком службы и обеспечивают более стабильные размеры получаемой канавки. В случае их отсутствия могут быть использованы сварочные угли или графитовые стержни. Использование для резки на переменном

токе омедненных электродов нерационально вследствие недостаточной стойкости слоя омеднения.

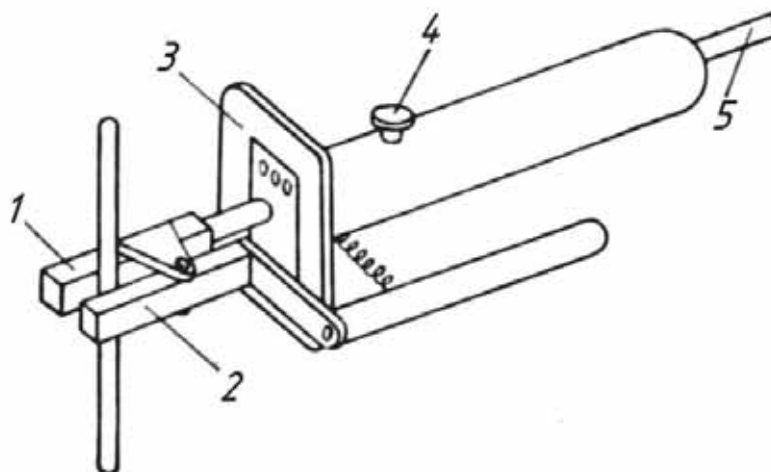


Рис. 13.38. Резак с рычажной губкой

В качестве стержней для воздушно-дуговой обработки могут быть также использованы графитовые стержни, изготавливаемые из отходов электропечных электродов путем их резки дисковыми фрезами. Поперечное сечение таких электродов обычно имеет форму квадрата или прямоугольника с размерами 6 x 8, 8 x 8, 8 x 10, 10 x 10, 10 x 12 и 12 x 12 мм. В отдельных случаях могут быть использованы пластинчатые электроды шириной до 20–25 мм и толщиной 3–4 мм.

Для каждого диаметра электрода существует технологически рациональный диапазон токов. Величина рабочего тока связана с диаметром электрода следующим образом:

$$I = kd, \quad (13.1)$$

где I – сила тока в а; d – диаметр электрода в мм; k – коэффициент, зависящий от теплофизических свойств материала электрода (для угольных электродов $k = 46–48$ а/мм, для графитовых электродов при работе на постоянном токе обратной полярности $k = 60–62$ а/мм).

В качестве источника тока при воздушно-дуговой резке следует применять сварочные генераторы повышенной мощности, позволяющие использовать угольные электроды диаметром до 12 мм и осуществлять процесс резки на токе до 400–500 а.

При воздушно-дуговой резке на переменном токе применяются стандартные сварочные трансформаторы типа СТЭ-32 и СТЭ-34 с наложением на дугу токов высокой частоты от осциллятора. Наиболее целесообразным является использование для питания дуги двух параллельно соединенных трансформаторов. Питание резака сжатым воздухом производится от цеховой сети под давлением 4–6 ат. При давлениях

меньших 4 ат (до 2–2,5 ат) процесс воздушно-дуговой резки протекает достаточно устойчиво, однако выдувание расплавленного металла происходит недостаточно эффективно.

Глубина выплавляемых канавок при воздушно-дуговой резке зависит от скорости движения резака, диаметра используемого электрода, величины тока и угла наклона электрода к поверхности обрабатываемого металла. Увеличение угла наклона электрода к обрабатываемой поверхности позволяет получать более глубокие канавки. Рациональный диапазон скоростей лежит в пределах 250–500 мм/мин.

Воздушно-дуговая резка на переменном токе используется при обработке чугуна, исправлении дефектов литья: удалении заливов, выплавке шлаковых включений, газовых и усадочных раковин, трещин и т. д.

При воздушно-дуговой обработке чугуна наблюдается зона отбела толщиной 0,05–0,15 мм и зона температурного влияния – около 0,5–0,8 мм. При обработке углеродистых сталей общая зона температурного влияния составляет 1,3–1,4 мм.

Этот метод обработки широко применяется для поверхностной резки, зачистки или строжки отливок. Схема процесса поверхностной воздушно-дуговой резки показана на рис. 13.39. Угол наклона электрода к поверхности металла при строжке на переменном токе поддерживается в пределах 30–45°, а при разделительной резке – 45–60°.

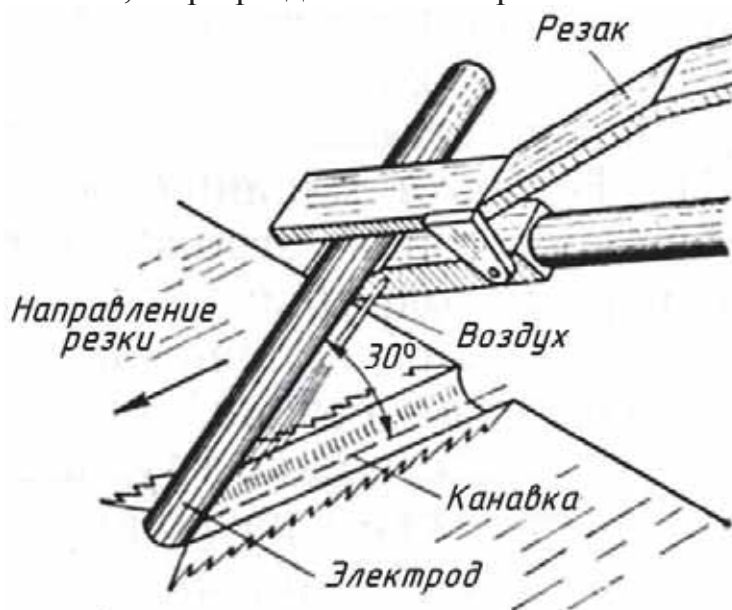


Рис. 13.39. Схема поверхностной воздушно-дуговой резки

Строжка деталей с высоким содержанием углерода протекает медленнее, чем строжка малоуглеродистых сталей. При постоянном токе обратной полярности производительность труда выше, чем при пере-

менном, и поверхность строжки получается чище.

Рекомендуемые режимы при строжке на постоянном и переменном токе приведены в табл. 13.13. При их применении вылет электрода должен быть 120 мм.

Таблица 13.13

Режимы строжки стали

Вид тока	Размер электрода в мм	Марка стали	Сечение стружки в мм	Скорость строжки в м/ч	Сила тока в а	Напряжение в в	Расход электродов на 1 пог.м в г	Расход воздуха на 1 м в л
Постоянный	15x10	У12 1Х18Н9Т	15x1,5	70 60	450—550 500—550	40 50	20 24	80 25
Переменный	40x 10	У12 1Х18Н9Т	40x 1,5	60—65 50—55	750—800 800—850	40 50	18 20	170 200

Чтобы процесс строжки на переменном токе протекал устойчиво, необходимо в сварочную цепь включать осциллятор.

Сущность способа плазменно-дуговой резки заключается в проплавлении металла мощным дуговым разрядом, искусственно сосредоточенным на ограниченном участке обрабатываемой поверхности. Электрическая дуга расплавляет металл, а газовая струя, подаваемая в полость реза через отверстие наконечника, удаляет расплавленный металл.

Принципиальная схема процесса плазменно-дуговой резки показана на рис. 13.40.

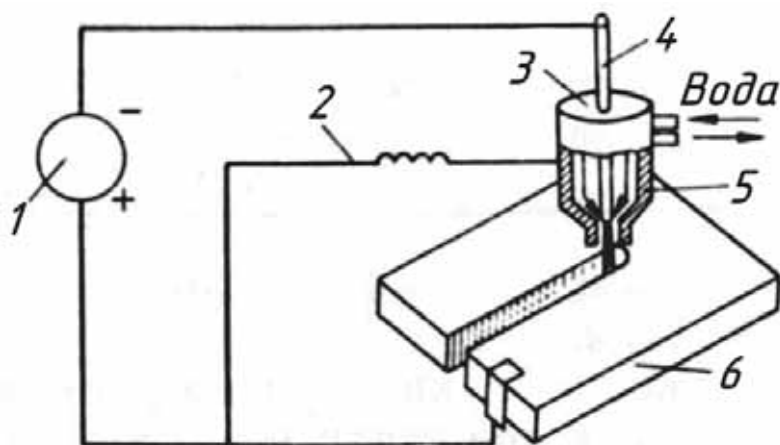


Рис. 13.40. Принципиальная схема процесса плазменно-дуговой резки: 1 – генератор постоянного тока; 2 – добавочное сопротивление в цепи вспомогательной дуги; 3 – газ; 4 – вольфрамовый электрод; 5 – наконечник; 6 – разрезаемый металл

Плазменно-дуговая резка осуществляется с помощью вольфрамового электрода 4. Электрод располагается внутри водоохлаждаемого медного наконечника 5 для обеспечения необходимого сжатия электрической дуги и придания ей вытянутой формы. Газовая струя 3, подаваемая в корпус, защищает электрод от разрушения, а кромки разрезаемого металла 6 – от окисления.

В качестве источника тока используется генератор постоянного тока прямой полярности 1. Во избежание проплавления наконечника при возбуждении дежурной дуги, применяется специальное балластное сопротивление 2, установленное в цепи электрод–наконечник, которое ограничивает ток дежурной дуги в пределах от 10 до 15 а.

Для возбуждения дуги между электродом и металлом используется дополнительный электрический разряд – так называемая дежурная дуга. Дежурная дуга возбуждается между вольфрамовым электродом и медным водоохлаждаемым наконечником, для чего к ним подводится напряжение от генератора постоянного тока. Для облегчения зажигания вспомогательной (дежурной) дуги зазор между вольфрамовым электродом и наконечником обычно заполняется чистым аргоном и пробивается электрической искрой при помощи маломощного искрового генератора или замыкания токопроводящей вставкой. Поток аргона, подаваемый в наконечник, выдувает дежурную дугу из отверстия в виде раскаленных ионизированных газов. При соприкосновении этой дуги с обрабатываемым металлом она замыкает между ними зазор, тем самым возбуждая основную (режущую) дугу, величина тока которой составляет несколько сот ампер.

В настоящее время отечественной промышленностью серийно выпускаются механизированные установки типов КДР-1-57 – для резки алюминия, КДР-1-58 – для резки нержавеющей стали и УДР-61 – для ручной резки. Режимы плазменно-дуговой резки углеродистой стали Ст. 3 при использовании в качестве защитного газа технического азота, а в качестве источника питания три преобразователя типа ПС-50, соединенных последовательно, приведены в табл. 13.14.

Таблица 13.14

Режимы плазменно-дуговой резки углеродистой стали

Толщина разрезаемого металла в мм	Сила тока в а	Напряжение дуги в вольт	Скорость резки в мм/мин	Величина скоса кромок в мм
5	400	140	7000	1,5—2
8	380	145	3500	1,5—2
12	370	150	1900	1 — 1,5
24	350	160	800	0,5—1,5
30	340	170	500	0,5—1,5

Диаметр сопла при этом 4 мм; ширина реза 7 мм; расход азота 70–80 л/мин.

Процесс плазменно-дуговой резки экономически более выгоден. Стоимость 1 пог. м плазменно-дуговой резки при толщине листа 100 мм почти в два раза меньше, чем кислородно-флюсовой, а для толщины 35 мм – в 4,5 раза.

Огневая очистка и обрубка отливок характеризуется высокой производительностью, низкой стоимостью, простотой оборудования и универсальностью.

На основании экономического анализа, проведенного НИИЛитмашем установлено, что отрезка заливов огневым методом на стальных отливках весом до 100 кг по стоимости в четыре раза ниже, чем обработка пневматическим зубилом, а по продолжительности в пять раз меньше.

13.5.7. Очистка отливок кругами

13.5.7.1. Очистка абразивными кругами

Очистка абразивными кругами с применением ручных шлифовальных машинок и обдирочно-шлифовальных станков подвесного типа рассматривалась в параграфе 13.5.1.

Работа на этом оборудовании производится вручную. При обработке отливок рабочий прижимает к отливке либо абразивный круг подвесного станка, либо абразивный круг пневматической шлифовальной машинки.

Зачистка отливок на перечисленном оборудовании имеет ряд серьезных недостатков. Значительная доля ручного труда, ведущая к быстрой утомляемости исполнителя, снижение скорости шлифования при износе круга, потери рабочего времени на частую ручную правку шлифовального круга обуславливают низкую производительность этого процесса. Кроме того, из-за низкой механической прочности абразивных кругов все существующее оборудование рассчитано на низкие скорости шлифования (15–30 м/сек).

Разрывы шлифовальных кругов приводят к травматизму, а небольшое расстояние от лица рабочего до шлифовального круга – к травматизму глаз. Кроме того, у рабочих развиваются профессиональные заболевания, связанные с выделением при абразивной обработке отливок в зону дыхания большого количества металлических частиц и пыли, содержащей кварц.

Устранение недостатков, изложенных выше, ведется по нескольким направлениям.

1. Повышение производительности труда:
 - за счет механизации процесса обработки;

- повышения скорости шлифования абразивными кругами, предназначенными для работы с высокими скоростями;

- создания конструкции станков, обеспечивающих постоянство скорости шлифования независимо от степени износа круга.

2. Улучшение санитарно-гигиенических условий труда:

- за счет создания высокопрочных абразивных кругов;

- локализации пылевыведений и установки эффективной приточно-вытяжной вентиляции, обеспечивающей снижение запыленности в зоне расположения рабочего.

3. Снижение брака по геометрическим размерам за счет размерной обработки отливок на механизированных установках.

4. Уменьшение расхода абразивных кругов за счет изменения способа их крепления.

На ряде отечественных заводов, имеющих массовый характер производства, внедрено автоматическое оборудование для абразивной зачистки отливок.

Удаление заливов, заусениц и остатков литниковой системы у подавляющего большинства отливок может быть выполнено (рис. 13.41) плоским, круглым и фигурным видами шлифования (периферией или торцом круга).

Плоское шлифование периферией круга (рис. 13.41, *а*) является устаревшим видом обработки, широкое применение которого в механизированных установках нецелесообразно. Плоское же шлифование торцом круга (рис. 13.41, *в*) является прогрессивным видом обработки, при котором производительность резко возрастает, а расход абразивного материала снижается за счет более полного использования шлифовального круга.

Круглое шлифование периферией круга (рис. 13.41, *б*) может быть использовано для зачистки круглых поверхностей, ширина зоны обработки которых не превышает толщину шлифовального круга. При этом операция обработки завершается за один оборот отливки.

Круглое шлифование торцом круга (рис. 13.41, *г*) является прогрессивным видом обработки, позволяющим за один оборот отливки зачистить поверхность значительной ширины.

Использование фигурного шлифования из-за неравномерного износа кругов в механизированных установках нецелесообразно.

В настоящее время на созданных автоматизированных установках и машинах для абразивной обработки отливок преобладает зачистка поверхностей торцом круга.

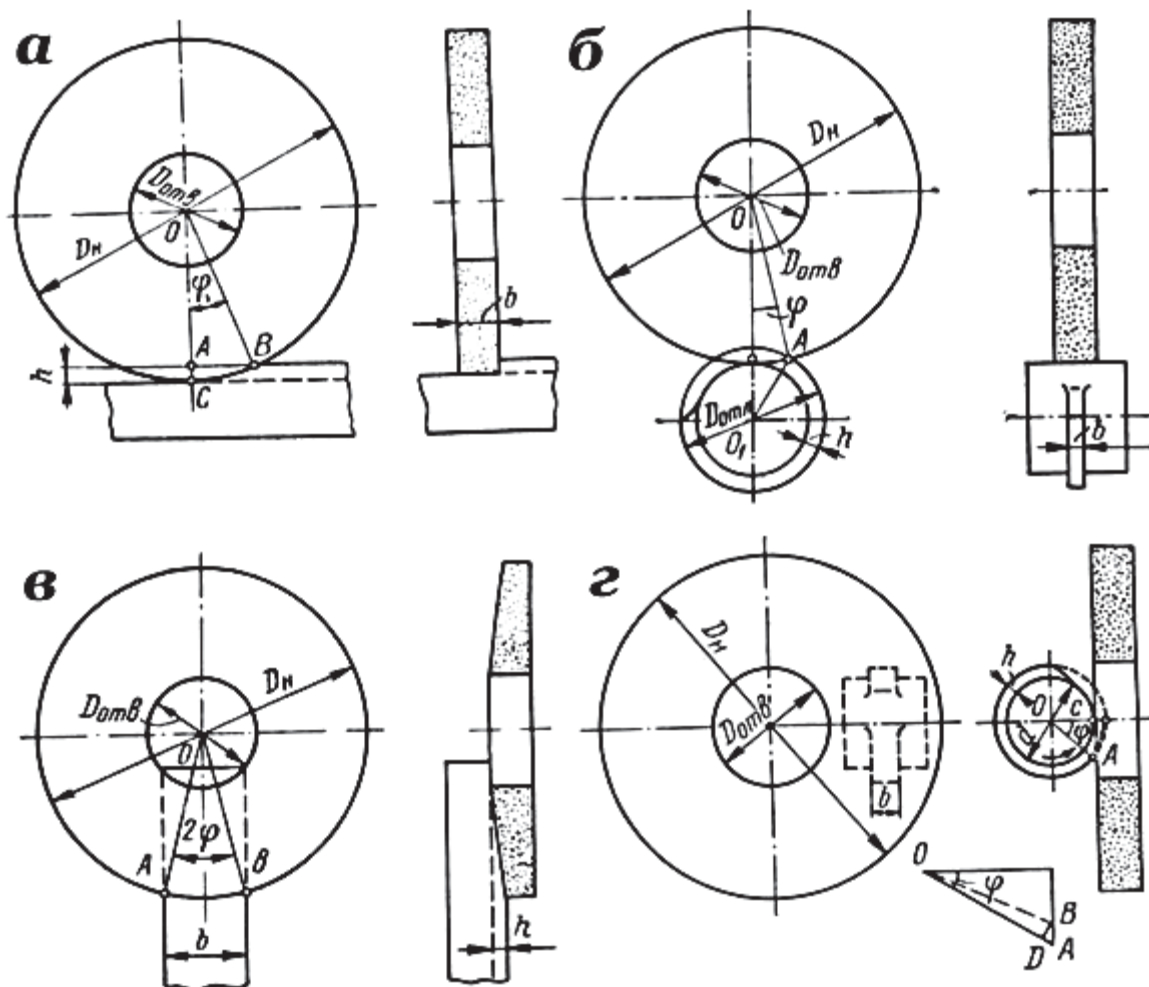


Рис. 13.41. Схемы абразивной обработки: а – плоской поверхности периферией круга; б – цилиндрической поверхности периферией круга; в – плоской поверхности торцом круга; г – цилиндрической поверхности торцом круга

Преимущественное использование процесса обработки отливок торцом круга связано с новым типом крепления круга к шпинделю станка. Особенность этого крепления заключается в том, что абразивный круг своим торцом приклеивается специальной мастикой к металлическому диску, который непосредственно скрепляется с фланцем шпинделя станка.

Технология приклеивания круга к металлическому диску обеспечивает возможность: 1) повторного использования металлических дисков; 2) использования отходов абразивных кругов в качестве наполнителя мастики.

13.5.7.2. Очистка металлическими кругами

Развитие процесса абразивной обработки отливок привело к созданию высокопроизводительных армированных шлифовальных кругов, имеющих

скорости резания до 100 м/сек. При этом в зоне контакта шлифовального круга с отливкой происходит интенсивное тепловыделение, которое приводит к размягчению тонкого слоя металла. Наличие размягченного слоя металла способствует увеличению производительности процесса. Изучение процесса высокоскоростной абразивной обработки показало, что с повышением скорости обработки различия в характеристиках шлифовальных кругов мало влияют на параметры процесса. Этот вывод явился основанием к созданию процесса шлифования металлическим быстро вращающимся кругом.

Первое упоминание о производственном использовании метода обработки металлическими кругами относится к 90-м годам 19-ого столетия.

Проведенные исследования изменения структуры металла в зоне прорези при применении дисковой беззубой пилы трения доказали пригодность этого способа резки не только для конструкционных, но и для инструментальных сталей. Глубина поверхностного слоя с измененной структурой составляет 0,1–0,3 мм. Структурные изменения в этом слое не влияют на последующую механическую обработку поверхности реза.

Успешные опыты привели к созданию большого количества пил трения, используемых в металлургической промышленности для разрезки слитков и проката. Большая производительность, простота и надежная конструкция пил трения обеспечили им применение в промышленности.

Существенным недостатком пил трения является сильный шум высокого тона («вой»), который вызывается вибрацией тонкого вращающегося диска.

Главными преимуществами процесса очистки трением (по сравнению с абразивной обработкой) является отсутствие выделений пыли, содержащей частицы кварца, и высокая стойкость стального диска.

В соответствии с существующей гипотезой, в зоне контакта быстро вращающегося диска с отливкой выделяется большое количество тепла – температура на контактной поверхности отливки повышается до температуры плавления металла. Каждая точка поверхности диска, выходя из зоны контакта, увлекает за собой частицы расплавленного металла. При этом более крупные из них под действие центробежной силы отрываются от поверхности диска, а мелкие остаются. Быстрое вращение дисков создает мощный вихревой поток воздуха, охлаждающий диск. Застывшие на поверхности диска частицы металла напоминают абразивные зерна. Как и абразивные зерна, они врезаются в размягченный слой разогретого металла в зоне контакта и удаляют его. В процессе резания прилипшие частицы металла изнашиваются, и к моменту выхода из зоны контакта большинство зерен превращается в тонкие лепестки, которые под действием воздушного потока быстро остывают и теряют способность держаться на поверхности диска.

Налипание частиц металла происходит непрерывно, с каждым оборо-

том стального диска. Выполнив работу, прилипшая частица отлетает от поверхности, а на ее место налипает следующая. Непрерывное восстановление на рабочей поверхности вращающегося диска частиц металла, выполняющих функцию рабочего инструмента при зачистке, позволило создать инструмент, стойкость которого в 100 раз выше, чем у абразивного круга.

Высокая стойкость инструмента позволяет создавать оборудование для зачистки фигурных поверхностей отливок, что практически невозможно при абразивном круге. Резкое снижение уровня шума высокого тона (в сравнении с пилами трения) достигается за счет увеличения толщины диска.

13.5.7.3. Оборудование для очистки отливок кругами

На рис. 13.42. показан полуавтоматический станок для обработки трех плоскостей отливок абразивными кругами.

Полуавтомат состоит из станины и трех салазок 2, на которых смонтированы шпиндельные головки с абразивными кругами 3 и 4. Отливка 1 устанавливается на стол, который подает ее в зону обработки. Обработка отливки производится торцами абразивных кругов.

Производительность станка 120 отл/ч, диаметр шлифовального круга 500 мм, количество шлифовальных кругов 3 шт.

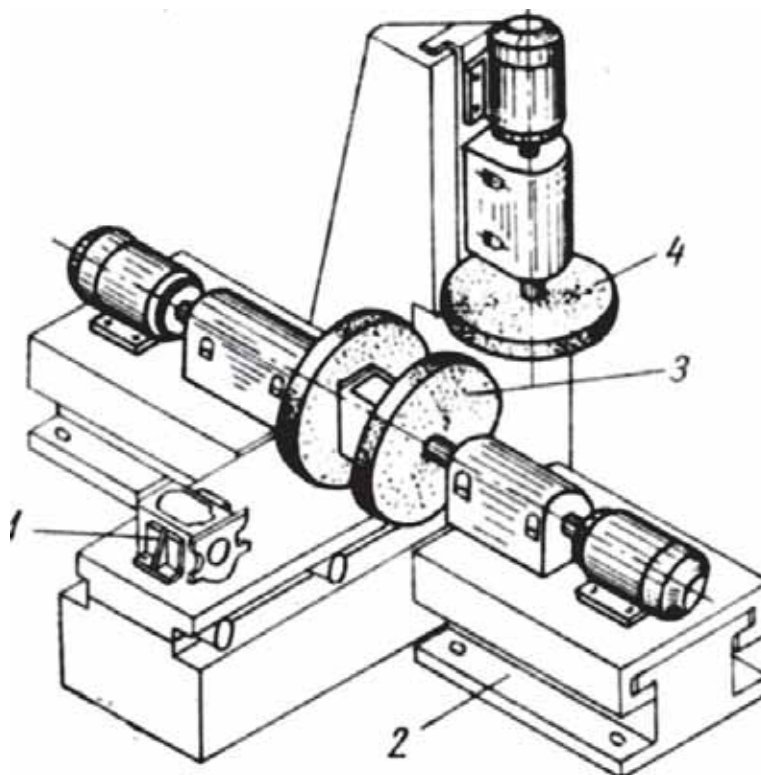


Рис. 13.42. Схема полуавтоматического станка для обработки трех плоскостей отливок

Создан полуавтоматический станок для очистки металлическими кругами корпусов трубопроводной арматуры из ковкого чугуна. Он предназначен для зачистки остатков литниковых систем (питателей) на двух противоположных фланцах (рис. 13.43), для чего отливка принудительно вводится между стальными кругами, расстояние между которыми имеет заданную величину.

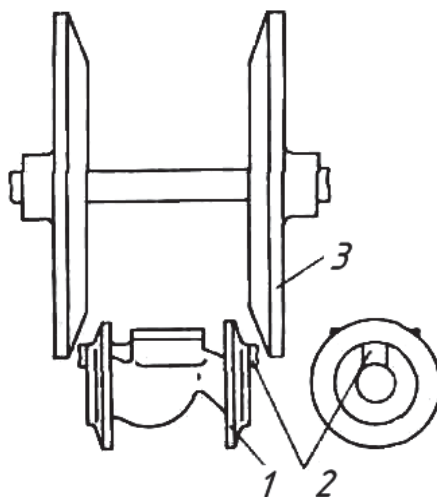


*Рис. 13.43. Схема обработки отливки корпуса арматуры:
1 — отливка; 2 — питатель; 3 — стальной диск*

Полуавтоматический станок (рис. 13.44) состоит из следующих основных узлов и механизмов: вала 1 с дисками 2, расстояние между которыми регулируется винтом 3; электродвигателя 4 привода вращения дисков, клиноременной передачи 6, многопозиционного барабана 13, механизма 14 зажима отливки, электродвигателя 8 привода барабана, предохранительной муфты-шкива 9, клиноременной передачи 10, двух червячного редуктора 11, открытой косозубой передачи 12, насоса централизованной смазки 7, реле контроля скорости 5 и других узлов и механизмов.

Основанием станка является литой чугунный корпус, состоящий из трех частей, в разъеме которых установлены подшипники вала дисков и вала барабана.

Работа полуавтомата состоит в следующем: отливка, подлежащая зачистке, укладывается на призму медленно вращающегося барабана. По выходе из зоны загрузки, отливка зажимается с помощью пневмоцилиндра и принудительно вводится между быстро вращающимися стальными дисками, где с помощью трения производится зачистка остатков питателей. После обработки отливка автоматически раскрепляется и под действием собственного веса выпадает из окна выгрузки в контейнер.

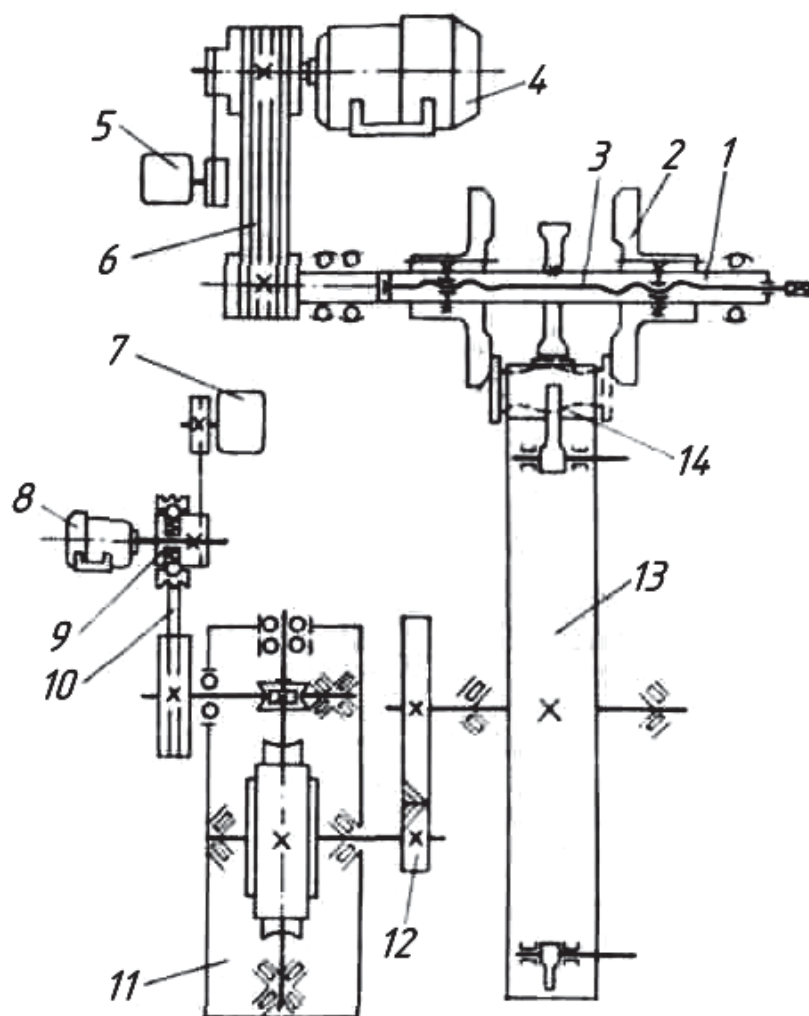


Рис. 13.44. Кинематическая схема полуавтомата

13.5.8. Очистка отливок электрическими способами

Электрическими способами обработки называются такие способы, при которых разрушение материала, его удаление и структурные преобразования происходят под действием электрической энергии, вводимой непосредственно в зону обработки, без предварительных превращений ее в механическую или другие виды энергии. В применении к очистке отливок эти способы разделяются на электротермический, основанный на тепловом действии электрического тока, и электрохимический, основанный на химическом действии тока. К первой группе относятся электроконтактные способы обработки, а ко второй – катодная очистка в расплавах.

13.5.8.1. Электроконтактная очистка

Электроконтактный способ обработки металлов был открыт в 1925 г., но получил промышленное использование только начиная с 1951 г. Этот способ обработки основан на использовании тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через участки цепи с повышенным сопротивлением, которое возникает в месте контакта диска-инструмента и обрабатываемой отливки.

Принцип действия установки для электроконтактной зачистки (рис. 13.45) состоит в следующем. Диск 1 вращается электродвигателем 3 через клиноременную передачу 2. Обрабатываемая деталь 4 закрепляется на подвижном столе 5. Переменный ток в зону контакта подается через трансформатор 6.

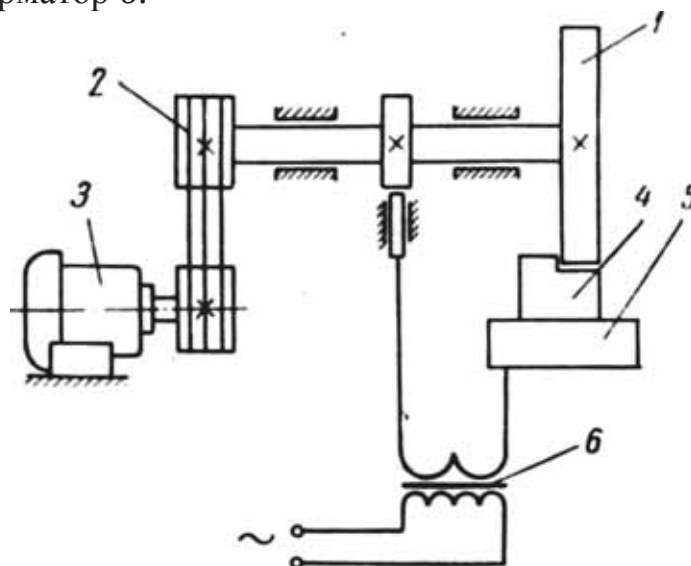


Рис. 13.45. Схема электроконтактной установки

При работе станка происходит соприкосновение двух электродов (инструмента и изделия) под небольшим давлением, что приводит к образованию в месте контакта повышенного сопротивления. Проходящий через место контакта электрический ток разогревает, размягчает и плавит металл, облегчая удаление его с изделия. Для предотвращения плавления инструмента ему придают большую скорость вращения и искусственно охлаждают.

Процесс съема металла определяется количеством тепла, выделяющегося в зоне контакта, которое зависит от числа контактных мостиков и величины тока в рабочем контуре. При малом числе контактных мостиков, что соответствует обработке литых деталей, сила тока будет достаточна для оплавления этих мостиков. Кроме того, дуги короткого

замыкания, образующиеся при разрыве контактных мостиков, также способствуют оплавлению поверхности изделия.

Основными показателями, характеризующими процесс электроконтактной обработки, являются:

- производительность – скорость съема металла с обрабатываемой детали в единицу времени (например, в кг/ч);
- качество обработанной поверхности (чистота поверхности, глубина слоя с измененной структурой и т. д.);
- обрабатываемость металла электроконтактным способом, оцениваемая удельным расходом электроэнергии в кВт·ч/кг.

Электроконтактная обработка, являясь разновидностью электроэрозионной обработки, характеризуется отсутствием генератора импульсов, так как импульсивность тока создается за счет относительного перемещения поверхности электродов. Другой особенностью этого способа является проведение процесса в воздушной атмосфере, в отличие от других видов эрозионной обработки, проводимых в электролите.

Возможность проведения электроконтактной обработки при различных значениях параметров процесса обуславливает наличие ряда разновидностей обработки, классификация которых приведена в табл. 13.15.

Таблица 13.15

Классификация разновидностей электроконтактной очистки

Разновидность очистки	Напряжение, в
Электрофрикционная зачистка отливок	До 12(низкое)
Электроконтактная зачистка отливок	До 25(среднее)
Электроконтактная обдирка слитков	До 40(повышенное)

При низком напряжении (до 12 в) съем металла происходит за счет нагрева контактных перемычек. Дуговые разряды в зоне обработки отсутствуют или занимают в тепловом балансе межэлектродного промежутка незначительное место. При среднем напряжении (до 22 в) дуговые разряды в тепловом балансе зоны обработки занимают значительное место. При повышенном напряжении (св. 22 в) дуговые разряды, если отсутствует давление в зоне контакта, играют главную роль при съеме металла.

Точные границы между режимами установить трудно, так как они зависят от ряда причин: теплофизических свойств металла изделия и инструмента, теплообмена межэлектродного промежутка с окружающей средой, наличия давления в зоне контакта, которое, в свою очередь, может определяться технологическими условиями обработки изделия.

Удаление металла при электроконтактной обработке обусловлено

главным образом тепловыми процессами. Выделение тепла в зоне контакта обусловлено как тепловым действием тока, так и трением.

На нагрев и плавление частиц металла обрабатываемой поверхности тепло расходуется полезно. Остальная часть тепла идет на нагрев диска, массы отливки и теплопередачу в окружающее пространство путем излучения и конвекции.

Материал стального диска-инструмента имеет такие же теплофизические свойства, как и металл стальной отливки. Поэтому тепло, выделяющееся в зоне контакта, поглощается инструментом и отливкой в одинаковых количествах и некоторая часть тепла рассеивается в окружающем пространстве.

При электроконтактной обработке углеродистых сталей в режиме электрического оплавления неизбежен значительный нагрев поверхностных слоев и их подкалка.

Исследованиями установлено, что зона термического влияния с измененной структурой имеет величину 1–4 мм. Углеродистая сталь и серый чугун при этом закаляются. Твердость поверхности увеличивается в 1,5–2 раза. В то же самое время при обработке сталей аустенитного класса (например, 110Г13Л) зона термического влияния с измененной структурой составляет 0,1–0,2 мм, твердость при этом не увеличивается.

Для уменьшения скорости охлаждения, а, следовательно, и твердости закалки, обработку среднеуглеродистых сталей следует производить при небольших подачах с большой глубиной врезания. Обработку малоуглеродистых сталей и сталей аустенитного класса можно производить с большими подачами.

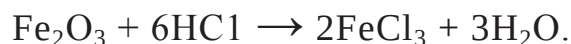
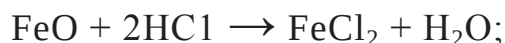
Для уменьшения глубины закаленной зоны целесообразно применять большие подачи и малую глубину врезания при обработке всех сталей.

13.5.8.2. Электрохимическая очистка

Электрохимические способы очистки металлических изделий от окислов, окалины и других видов загрязнений находят широкое применение в промышленности. При этом используются два основных способа очистки: травление в растворах кислот и травление в расплавах щелочей.

При электрохимическом травлении в растворах кислот наблюдается одновременное химическое воздействие на металлическую поверхность кислоты и электрического тока. Это приводит к растворению поверхностных слоев металла и к удалению оксидных пленок, окалины и других загрязнений, находящихся на поверхности. Удаление загрязнений происходит в результате растворе-

ния основной массы оксидов (или гидроксидов) в кислоте с образованием растворимых солей. Например, для железа



Выделяющийся в процессе реакции газообразный кислород разрушает окисел и облегчает его отрыв. Содержащиеся в окисленном слое нерастворимые в кислотах примеси (углерод, кремний, шлаковые загрязнения и др.) остаются на очищаемой поверхности в виде пятен шлама, который удаляется последующей промывкой в концентрированных кислотах.

Очистка отливок способами электрохимического травления в растворах кислот широкого распространения в литейных цехах не получила. Это объясняется следующими причинами.

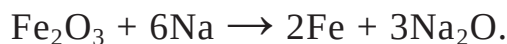
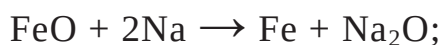
Во-первых, в процессе очистки происходит удаление не только оксидов и других загрязнений, но и растворение поверхностного слоя металла. Это вызывает нарушение поверхностной литейной корки, что ведет к снижению эксплуатационной прочности и износостойкости металла отливки.

Во-вторых, растворение металла со всей поверхности отливки ведет к изменению размеров последней. В ряде случаев (литье по выплавляемым моделям, в оболочковые формы и другие виды точного литья) изменение размеров в процессе очистки отливок не допускается.

В третьих, очистка отливок электрохимическим травлением в растворе кислот является сложным многоступенчатым процессом, использование которого ведет к применению большого количества различных видов химических соединений. Применение этого способа в серийном и массовом производстве отливок связано с необходимостью иметь большое количество оборудования (и, соответственно с этим, площадей). Это вызывается сложностью и малой производительностью процесса очистки, цикл которого длится 2–3 ч.

Другим способом электрохимической очистки отливок, принципиально отличным от изложенного, является электрохимическое травление в расплавах щелочей. Этот способ основан на реакции восстановления оксидов металла на очищаемой поверхности металлическим натрием, выделяющимся на поверхности отливки в процессе электролиза расплавленной щелочи.

Восстановление щелочи протекает по следующим реакциям:



Образующийся металл остается на очищаемой поверхности в виде плотного слоя или порошка.

Электрохимическое травление в расплавленных щелочах является одним из прогрессивных способов очистки поверхностей отливки. Преимущество этого способа заключается в том, что металл в процессе очистки совершенно не разрушается. В то же время окалина восстанавливается и происходит химическое растворение пригара в электролите, состоящем из расплавленного технического едкого натра, под действием температуры расплава и постоянного тока.

Установка для электрохимической очистки отливок способом травления в расплавленных щелочах (рис. 13.46) состоит из ванны 1 с расплавленным каустиком, отливки 2, подвески 3 с электроконтактным устройством 4 и источника постоянного тока 5 с блоком приборов управления и автоматики 6.

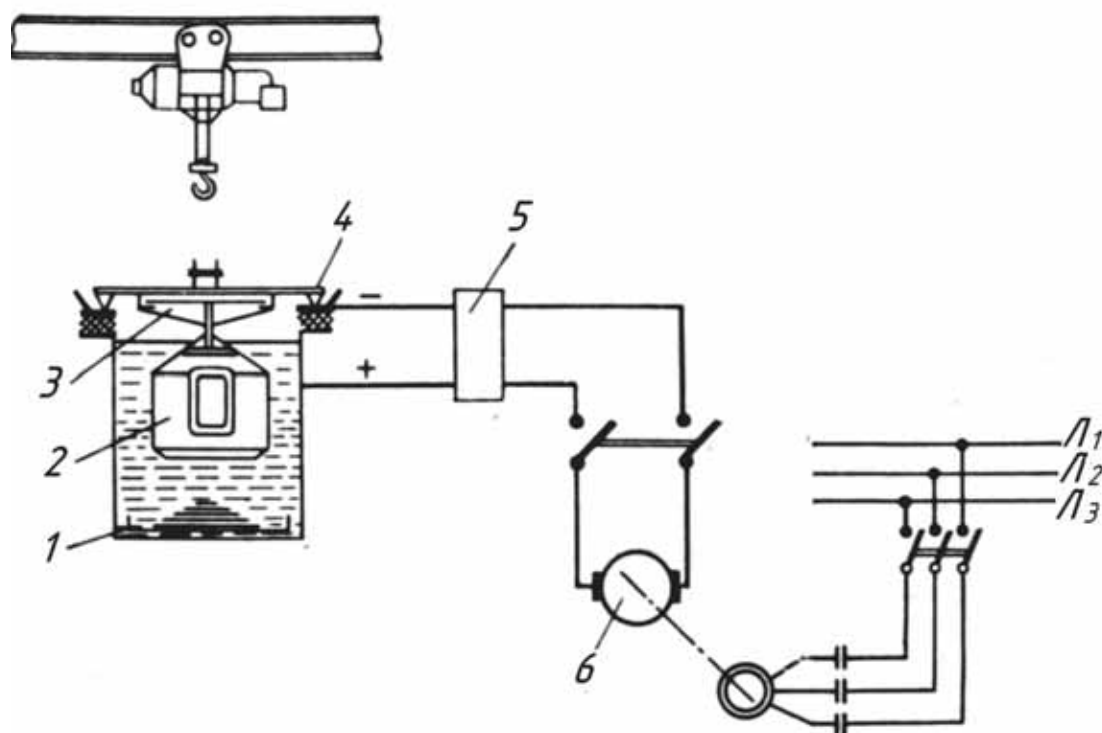


Рис. 13.46. Схема установки для электрохимической очистки отливок: 1 – ванна; 2 – отливка; 3 – подвеска; 4 – электроконтактное устройство; 5 – источник постоянного тока; 6 – блок приборов управления и автоматики

Установка работает следующим образом. Отливки, подлежащие очистке, укрепляются на подвеске и с помощью транспортного устройства (например, тельфера) опускаются в ванну с расплавленным каустиком. Источник питания подключается к ванне таким образом, что отливка является катодом, а корпус ванны – анодом. В про-

цессе очистки с поверхности отливки удаляется окалина и пригар. Окалина состоит из трех слоев (рис. 13.46), образуемых оксидами железа FeO , Fe_3O_4 и Fe_2O_3 , причем закись железа FeO преобладает. Химический состав пригара более сложен и состоит главным образом из SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2SiO_4 и др.

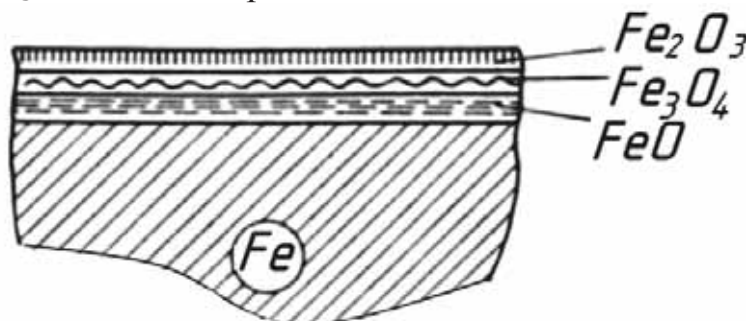
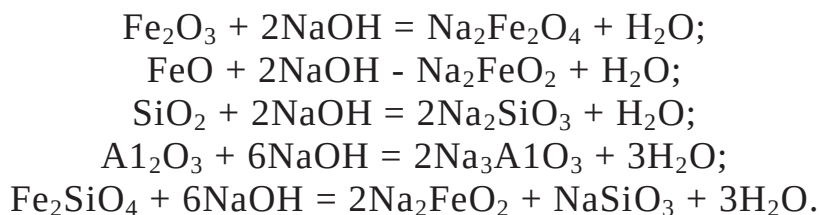
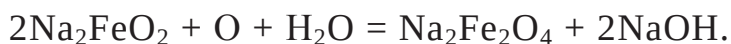


Рис. 13.46. Строение слоя окалины

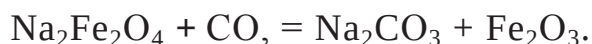
Составные части окалины и пригара взаимодействуют с расплавленной щелочью следующим образом:



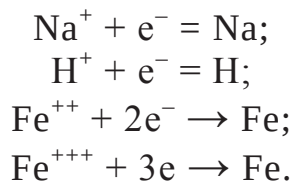
Образовавшийся в электролите феррат натрия окисляется выделяющимся на аноде кислородом в феррит натрия



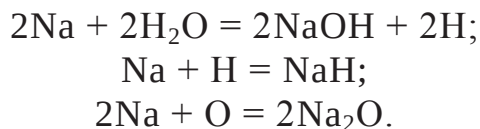
Феррит натрия, в свою очередь, взаимодействует с двуокисью углерода воздуха. При этом образуется сода и окись железа



В процессе взаимодействия щелочи с окалиной и пригаром на границе электролит–металл непрерывно образуется насыщенный раствор феррита и феррата натрия и растворимого стекла, препятствующий удалению последующих слоев окалины и пригара. Однако под действием постоянного тока в расплавленном едком натре на катоде происходят следующие реакции:

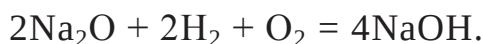


Выделяющийся на катоде металлический натрий растворяется в электролите и диффундирует в анодное пространство, а навстречу ему движутся образовавшиеся на аноде (при разряде) вода и кислород. При этом происходят реакции

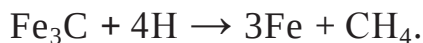


Последние две реакции проходят в интервале температур 350–400 °С.

Оксид натрия вступает в реакцию с водородом и кислородом, образуя снова едкий натр



Выделяющийся на катоде водород взаимодействует с карбидами, вызывая обезуглероживание



Типовой технологический процесс электрохимической очистки отливок методом катодного травления в расплаве щелочи состоит из следующих операций:

- катодное травление в расплавленной щелочи (480–500 °С);
- промывка в холодной воде (18–20 °С);
- промывка в горячей воде (70–80 °С).

Особенностью операции монтажа отливки на загрузочное приспособление является необходимость создания надежного электрического контакта между приспособлением и отливкой.

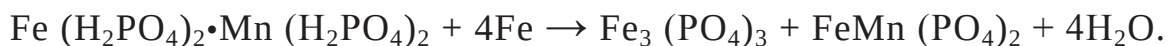
Травление осуществляется в расплаве, оптимальный состав которого по составу составляет 92 % NaOH, 5 % NaCl, 2 % Na₂CO₃, 1 % NaF. Продолжительность травления составляет 20–30 мин и зависит от величины пригара и сложности конфигурации отливки. Сила тока, пропускаемого через электролит, зависит от величины очищаемой поверхности и составляет 15–25 а/дм².

После травления отливки погружают в ванну с холодной водой. При резком охлаждении от очищенной поверхности отслаивается феррит. Затем отливки промываются в горячей воде для окончательного удаления щелочи. Продолжительность промывки в холодной и горячей воде составляет по 3–5 мин.

Кроме указанных операций, в технологический процесс, как правило, включают еще и операцию фосфатирования, которая предназначена для создания на очищенной поверхности слоя, защищающего отливку от ржавления.

Процесс фосфатирования (с заполнением пор поверхности металла антикорродирующим веществом) ведется в растворе, содержащем 4 % соли Мажефа $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ и 6 % бихромата натрия ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Температура раствора 80–90 °С.

В результате фосфатирования на поверхности отливки образуется защитная пленка из фосфорнокислых соединений железа и марганца



Эти соединения плохо растворяются в воде. Одновременно с этим на поверхности отливки адсорбируется ингибитор – бихромат натрия, повышающий коррозионную стойкость деталей. Образовавшаяся пленка имеет кристаллическую структуру используется в качестве грунта под окраску.

При погружении в расплав щелочи холодной отливки в ней могут возникнуть опасные напряжения, вызывающие коробление. Для предотвращения этого явления следует сложные отливки подвергать предварительному нагреву до температуры 250 °С и лишь затем загружать в расплавленную щелочь.

При очистке отливок количество щелочи в ванне постепенно уменьшается. Это связано с уносом щелочи с отливками и образованием химических соединений, выпадающих в осадок (шлам). Поэтому в ванну следует периодически добавлять щелочь (в виде твердых кусков или в растворе после регенерации шлама). Добавление щелочи и корректировку состава электролита следует производить в холодном состоянии при температуре не выше 25 °С.

Таким образом, полный цикл очистки состоит из следующих операций: предварительный нагрев, катодное травление, промывка в холодной и горячей воде, фосфатирование и сушка.

Как показали исследования, процесс электрохимической очистки катодным травлением в расплавленных щелочах не влияет на прочностные свойства металла отливок, не вызывает их деформацию и применим для очистки отливок с минимальными припусками под механическую обработку. В то же время частичное обезуглероживание поверхности, наблюдаемое при катодном травлении, повышает эксплуатационную стойкость металлорежущего инструмента, за счет снижения твердости литейной корки.

Простота способа электрохимической очистки отливок методом катодного травления в расплавленной щелочи позволяет полностью механизировать и автоматизировать этот процесс. Он применим для изделий различной сложности и веса из разных марок стали и чугуна, массового, серийного и индивидуального производства.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТЛИВКИ И ФОРМЫ

В данной главе будут рассмотрены процессы, происходящие при заливке форм металлом:

- статическое и динамическое давления металла на форму отливки;
- выделения газа из формы и стержней и внедрения его в металл;
- нагрев поверхностных слоев формы и связанные с этим явления.

14.1. ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ФОРМУ И СТЕРЖНИ

Давление металла на стенки формы и стержни может приводить к раскрытию стыка по линии разъема, уходу металла из формы, всплытию стержней, возникновению подутей, увеличению пригара, особенно при резком уменьшении площади сечения формы в направлении ее заполнения (бутылочный эффект), когда скорость резко возрастает и вызывает увеличение давления из-за гидравлического удара.

К расплавленному металлу применимы законы гидравлики: закон Архимеда, закон сообщающихся сосудов, закон Паскаля.

Следует обратить внимание на гидростатический парадокс, который заключается в том, что малая масса жидкости в тонкой высокой трубке определяет силы P и P_1 , давления соответственно на дно и верхнюю часть широкого сосуда (рис. 14.1):

$$P = \rho_{\text{ж}} g H F; \quad (14.1)$$

$$P_1 = \rho_{\text{ж}} g H_1 (F - f), \quad (14.2)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность расплава; g – ускорение свободного падения; H и H_1 – две высоты столба расплава; F и f – площади соответственно дна сосуда и тонкой трубки.

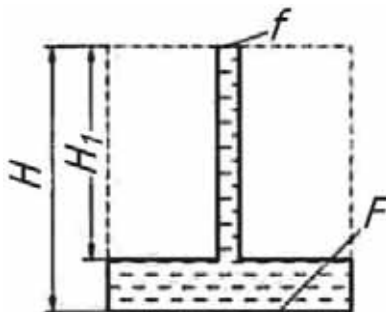


Рис. 14.1. Гидростатический парадокс: H , H_1 , F , f – значения высоты и площади для пояснения закона сообщающихся сосудов

Применительно к литейной форме (рис. 14.1) сила давления на верхнюю полуформу может быть определена также по уравнению (14.1).

По существу для этого случая гидростатический парадокс служит проявлением закона сообщающихся сосудов – уровень жидкости в форме стремится занять положение уровня жидкого металла в литниковой воронке.

На рис. 14.2 верхняя поверхность формы плоская и напор H везде одинаков. Для реальных фасонных отливок верхняя поверхность формы не является плоской, она, как правило, сложная, поэтому напор в каждой точке будет разный и расчеты силы давления на верхнюю полуформу усложняются.

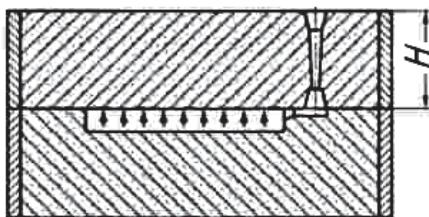


Рис. 14.2. Давление на верхнюю полуформу (плоская отливка):

H – напор металла; стрелками показано давление

Однако можно воспользоваться понятием «тело давления», под которым понимается тело, расположенное в верхней полуформе над отливкой. Тогда сила $P_{с.с.}$, действующая на верхнюю полуформу, определится весом металла, объем которого равен объему $V_{т.д.}$ тела давления

$$P_{с.с.} = \rho_{ж} g V_{т.д.} \quad (14.3)$$

Для цилиндрической отливки (рис. 14.3) объем $V_{т.д.}$ тела давления равен заштрихованному (на рис. 14.3 показано сеткой) объему над отливкой, который определяется разностью объема параллелепипеда, равного $H l_0 D_0$ (где H – высота верхней полуформы, или, точнее, напор металла; l_0 – длина отливки в плоскости, перпендикулярной чертежу; D_0 – диаметр отливки), и объема отливки, находящейся в верхней полуформе, $(\pi D_0^2 / 8) \cdot l_0$.

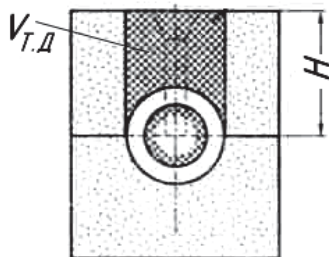


Рис. 14.3. Тело давления для цилиндрической отливки:

$V_{т.д.}$ – объем тела давления; H – напор металла

Для отливок со сложными очертаниями их проекции на плоскость разъема вместо произведения $l_0 D_0$ используется площадь проекции отливки на плоскость разъема. При определении силы, действующей на верхнюю полуформу, необходимо учесть силу $P_{\text{выт}}$, выталкивающую стержни в соответствии с законом Архимеда:

$$P_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{ст}}, \quad (14.4)$$

где $V_{\text{ст}}$ – объем части стержня, погруженного в расплав (без знаковых частей).

14.2. ПОДУТИЕ ОТЛИВОК

Под подутием отливок понимается изменение размеров отливки под действием давления металла, вызывающего движение стенок литейной формы.

Для охватываемых формой размеров отливки подутие приводит к увеличению размеров, а для охватывающих форму размеров – к их уменьшению.

В основном подутие проявляется на стальных и чугунных отливках, когда плотность жидкого металла достаточно высока. Однако даже для этих сплавов ($\rho_{\text{ж}} = 7000 \text{ кг/м}^3$) при наиболее распространенном напоре 300 мм давление металла составляет небольшую величину

$$P = \rho_{\text{ж}} g H = 7000 \cdot 9,81 \cdot 0,3 \approx 21000 \text{ Н/м}^2 \approx 0,21 \text{ кгс/см}^2,$$

и возникает вопрос: как такое малое давление вызывает подутие?

Можно назвать несколько причин подутия.

Первой причиной является неоднородность уплотнения форм даже при высоких давлениях прессования, которая связана с трением смеси о модель, особенно в узких карманах. При этом речь идет о локальных перемещениях стенок формы.

Второй причиной является то, что максимальное перемещение смеси в центре гибкой колодки, которой является жидкий металл, на 35 % больше, чем перемещение при нагружении жесткой колодкой.

Третьей причиной является различие напряженного состояния смеси при уплотнении смеси в опоке и при нагружении ее жидким металлом из полости формы. Для пояснения этого были проведены эксперименты с тремя схемами нагружения $a - в$ (рис. 14.4) и построены три зависимости в координатах «напряжение в смеси – перемещение смеси» (рис. 14.4, $з$). При нагружении по схеме a наблюдаются существенно большие перемещения смеси, чем при нагружении по схеме $в$, соответствующей уплотнению смеси в опоке. При нагружении по схеме a , примерно соответствующем нагружению жидким металлом, наблюдается

горизонтальный участок, похожий на площадку текучести и возникающий при напряжениях, приблизительно соответствующих пределу прочности при испытании стандартного образца (схема б), уплотненно-го до плотности, одинаковой с испытанием по схеме в.

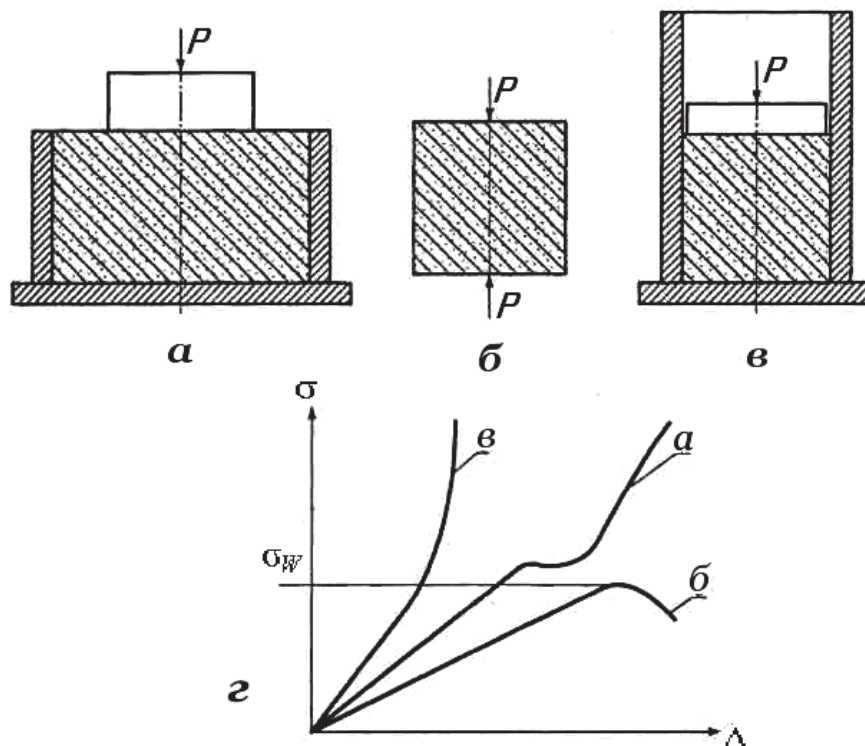


Рис. 14.4. Зависимости напряжений σ от перемещений при разных схемах (а – в) нагружения уплотненной формы: а – нагружение колодкой, меньшей по площади опоки; б – нагружение стандартного образца; в – нагружение уплотненной смеси в опоке

Реально эта площадка, а следовательно, и подутие может возникнуть в любой точке рабочей полости формы, изготовленной на встряхивающих машинах с подпрессовкой порядка $20 \dots 30 \text{ Н/см}^2$ (около $2 \dots 3 \text{ кгс/см}^2$). Для этого случая используется низкопрочная смесь с пределом прочности при стандартном уплотнении $\sigma_W = 5 \text{ Н/см}^2$ ($0,5 \text{ кгс/см}^2$). Уплотненность формы на названных машинах, как правило, бывает слабее, чем при стандартном уплотнении (три удара копра). Если учесть еще увеличение давления при гидравлическом ударе (примерно в 2 раза), то при напоре металла 300 мм в формах вполне реальным становится образование горизонтальной площадки (см. кривую а), т.е. возникновение подутия.

Уменьшения подутия можно достичь увеличением уплотненности низкопрочных смесей, но кардинальным решением является применение высокопрочных смесей с соответствующим уплотнением и суще-

ственное повышение точности отливок. Следует заметить, что на встряхивающих машинах достичь уплотнения высокопрочной смеси нереально.

Четвертой причиной подутия является образование зоны конденсации влаги в сырой форме после заливки, которая имеет повышенную влажность и способна доуплотняться при малых давлениях.

Однако следует заметить, что для небольших отливок до момента образования на отливке заметной твердой корки зона конденсации не успевает развиться и увеличение подутия за счет ее влияния, как показывают расчет и эксперименты, составит максимум 10 %.

Таким образом, под влиянием перечисленных четырех причин возникают систематические погрешности подутия формы (чаще всего локальные), которые необходимо учитывать в линейной усадке отливки (не сплава) и которые составляют одну из причин колебаний ее размера.

14.3. ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ РАКОВИН В ОТЛИВКАХ

Газовые дефекты в отливках подразделяются на сосредоточенные газовые раковины и газовую пористость.

Образование газовых дефектов может происходить по следующим трем причинам:

- выделение растворенного газа из сплава при затвердевании;
- захват (подсос) газов при заливке;
- внедрение в отливку газов из формы и стержней.

Если газ находится в растворе, то образование пористости в металле не происходит. Однако при изготовлении отливок температура металла понижается, и растворимость уменьшается, и газ будет выделяться из раствора. Независимо от происхождения газа газовые пузырьки могут образоваться, если общее давление $\sum p_{\Gamma}$ всех выделяющихся из металла газов будет больше суммы внешних давлений $\sum p_{\text{внешн}}$, т. е. $\sum p_{\Gamma} > \sum p_{\text{внешн}}$.

Общее давление всех выделяющихся газов складывается из парциальных давлений растворенных газов:

$$\sum p_{\Gamma} = p_{\text{H}_2} + p_{\text{N}_2} + p_{\text{CO}} + p_{\text{CO}_2} + \dots \quad (14.5)$$

Сумма внешних давлений находится из уравнения

$$\sum p_{\text{внешн}} = p_{\text{ПМ}} + p_{\text{М}} + \frac{2\sigma}{r}, \quad (14.6)$$

где $p_{\text{ПМ}}$ – давление над поверхностью металла; $p_{\text{М}}$ – гидростатическое давление металла; σ – поверхностное натяжение; r – радиус газового пузырька.

Захват газов при заливке формы предотвращается, если в литниковой системе обеспечивается положительное давление на ее стенки.

Условие внедрения газов из формы и стержней в отливку.

При заливке форма и стержень нагреваются, и в результате их газотворности начинается выделение газов, например в точке *A* (рис. 14.5). Дальнейшее движение газов возможно по двум путям: от отливки в форму и далее в атмосферу (путь 1) и из формы в расплав металла (путь 2).

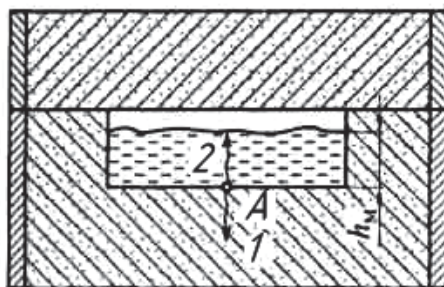


Рис. 14.5. Возможные направления пузырька *A* газа: 1 — от отливки в форму и далее атмосферу; 2 — из формы в металл; h_m — высота слоя расплава

Для этих вариантов направленного движения газов должны выполняться следующие неравенства:

$$p_A < p_M + p_{\Phi} \pm p_K = \sum p; \quad (14.7)$$

$$p_A > p_M + p_{\Phi} \pm p_K = \sum p, \quad (14.8)$$

где p_A — давление газов в точке *A*; $p_M = \rho_{ж}gh_M$ — давление жидкого металла; p_{Φ} — давление над уровнем металла в форме; $p_K = 2\sigma/r$ — капиллярное давление металла в порах формовочной смеси радиусом r , h_M — высота слоя расплава; σ — поверхностное натяжение жидкого металла.

Если выполняется неравенство (14.7), то газ уходит в атмосферу, а если справедливо неравенство (14.8), то газ будет внедряться в металл. Знак «+» относится к смачиванию формы металлом, знак «−» — к несмачиванию.

Практический интерес представляет неравенство (14.8). При его реализации внедрившийся пузырек газа будет быстро всплывать. Если форма не заполнена и поверхность металла не покрыта пленкой оксидов, то он уйдет в атмосферу. Если форма заполнена и на поверхности контакта нет препятствий (в виде пленки оксидов, оплавления поверхности формы), то пузырек также уйдет в атмосферу через газопроницаемую форму.

Экспериментально доказано, что при выполнении неравенства (14.8) в течение некоторого времени газ внедряется в металл и часто происходит его «кипение». При невозможности уйти в атмосферу внедрившиеся пузырьки газа останутся в металле в виде газовых включений (раковин).

Основное значение в правой части неравенств (14.7) и (14.8) имеет величина p_M . Величина p_F , как правило, мала (порядка 0,3 кПа) и не играет существенной роли, особенно при наличии выпоров. Давление p_K для чугуна, например, составляет порядка 10 кПа. Однако следует подробнее остановиться на капиллярном давлении, величина которого связана с поверхностным натяжением и со средней кривизной поверхности.

При контакте жидкости с твердыми телами на форму поверхности жидкости существенное влияние оказывают условия смачивания, которые обусловлены взаимодействием молекул жидкости и твердого тела. Случай смачивания твердого тела (рис. 14.6, а) рассмотрен применительно к капилляру (рис. 14.6, б) и единичному капилляру (поре) в формовочной смеси, в который внедряется металл (рис. 14.6, в) и газ (рис. 14.6, г).

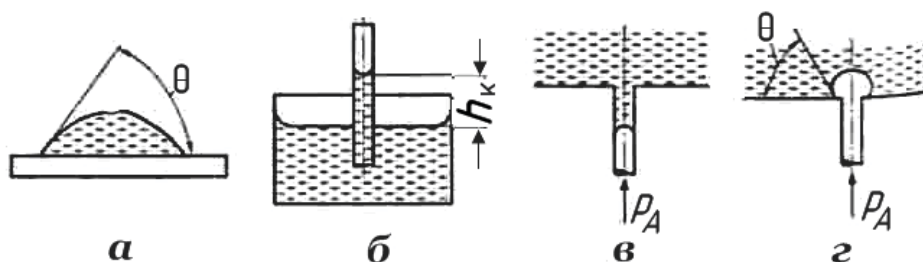


Рис. 14.6. Смачивание расплавом формовочной смеси: а — капля на твердой поверхности: θ — угол смачивания; б — жидкость в капилляре: h_K — высота поднятия (опускания) жидкости; в — расплав металла в поре формовочной смеси: p_A — давление газов на границе металл — форма; г — газ внедряется в металл: p_A — давление газа

Случай несмачивания для аналогичных вариантов взаимодействия жидкости и твердого тела рассмотрен на рис. 14.7.

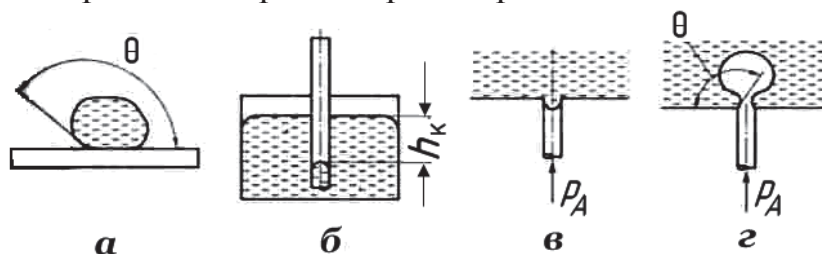


Рис. 14.7. Несмачивание расплавом формовочной смеси (обозначения те же, что на рис. 14.6, но в случае (г) газ внедряется в металл с пережисмом)

Силы притяжения, действующие между молекулами твердого тела и смачивающей его жидкости (рис. 14.6, *а*), заставляют ее подниматься по стенке сосуда, что приводит к искривлению примыкающего к стенке участка поверхности жидкости, а в капилляре определяет высоту h_k капиллярного поднятия жидкости (рис. 14.6, *б*). Жидкость, не смачивающая поверхность, образует выпуклый мениск (рис. 14.7, *б*), что вызывает ее опускание в капилляре ниже уровня свободной поверхности на высоту h_k .

Аналогичная картина наблюдается и в единичном капилляре. В случаях смачивания и несмачивания могут наблюдаться оба варианта, соответствующие неравенствам (14.7) и (14.8). Когда выполняется неравенство (14.7), металл внедряется в поры формы, но глубина внедрения больше для случая смачивания (рис. 14.6, *в* и рис. 14.7, *в*). Если выполняется неравенство (14.8), то газовый пузырек внедряется в рассматриваемые жидкие металлы по-разному. Для случая смачивания пузырек уходит (отрывается) из капилляра (поры), не оставляя зародыша. Для случая несмачивания в соответствии с углом θ , который отсчитывают со стороны жидкости, пузырек отрывается после образования перемычки и оставляет на поверхности зародыш.

На основании рассмотренной картины можно заключить, что внедрение газа в расплав в случае несмачивания происходит при меньшем давлении (капиллярное давление в правой части со знаком «—»). Кроме того, на поверхности остается зародыш. Напротив, при смачивании капиллярное давление в неравенствах с «+» и внедрение газов в металл происходит при большем давлении, а после отрыва пузырька на поверхности не остается зародыша.

Как известно, для предотвращения пригара на чугунных отливках в формовочную смесь вводят добавки, которые под действием теплоты выделяют пироуглерод, который не смачивается ни металлом, ни его оксидами. Очевидно, что при предотвращении пригара ухудшаются условия для внедрения газа в металл и образования газовых раковин, но литейщики предпочитают вводить углеродистые добавки в смесь, предупреждая образование газовых раковин другими способами.

Следует подчеркнуть, что схемы, приведенные на рис. 14.6, *г* и рис. 14.7, *г*, подтверждены экспериментально на прозрачных кристаллизующихся расплавах.

Для предупреждения образования газовых раковин можно применить три группы мер. К первой группе относятся мероприятия по уменьшению газового давления p_A и увеличению давления $\sum p$. Ко второй — создание препятствий внедрению газа в расплав, к третьей — создание условий для выхода внедрившегося газа из металла.

В первой группе мероприятий следует назвать уменьшение газотворности смесей, увеличение их газопроницаемости и пропускной способности, которая зависит не только от газопроницаемости, но и от площади потока и длины пути фильтрации. В стержнях газовый поток сходящийся, а в форме – расходящийся. Именно поэтому газопроницаемость стержневых смесей больше, чем формовочных.

К этой же группе относятся наколы в форме, газоотводные каналы в стержнях. Стержни предпочтительнее делать пустотелыми или заполнять сердцевину стержней крупнокусковым материалом, а знаковые части стержней не окрашивать или зачищать краску.

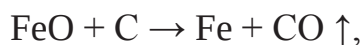
Положительного результата можно добиться увеличением давления жидкого металла p_m . Однако в текущем производстве этот путь практически не реализуем.

Незначительного увеличения давления $\sum p$ можно достичь устранением выпоров. В настоящее время на автоматических линиях и при машинной формовке выпоры практически не применяются.

Вторая группа мероприятий сводится к окрашиванию форм и стержней и созданию на их рабочей поверхности слоя с нулевой газопроницаемостью. При этом достигаются два эффекта: предотвращается образование пригара (основное назначение окрашивания) и внедрение газов из форм и стержней в расплав.

Третья группа мероприятий допускает «кипение» металла и реализуется, главным образом, за счет повышения температуры заливки, если такая возможность имеется, так как повышение температуры может отрицательно влиять на другие показатели качества отливок. Например, как уже отмечено выше, при повышении температуры увеличивается пригар. Кроме того, потолок формы можно выполнить из смеси с малой теплоаккумулирующей способностью. Твердая корка на потолке будет образовываться позже, и при кипении газ будет уходить из отливки через поры формы.

Наряду с внедрением газов в металл из формы и стержней к образованию газовых раковин приводят и другие причины. Например, газовые дефекты могут возникнуть из-за неподготовленности поверхности стальных жеребеек, которые в основном используются при изготовлении чугунных отливок. Подготовка заключается в очистке жеребеек от окалина или даже лужении, меднении или пассивировании их поверхности. При наличии на поверхности жеребеек окалина возможна нежелательная реакция с выделением CO



способствующая образованию раковин.

Причиной может явиться и конденсация влаги на холодильниках, установленных в сырых формах, заливка которых происходит с задержкой.

Следует также отметить газовые дефекты, называемые «ситовидной пористостью» (рис. 14.8), которая представляет собой чаще всего вытянутые перпендикулярно поверхности формы раковины с гладкой поверхностью диаметром 2... 3 мм. Такие раковины располагаются непосредственно под литейной коркой, их протяженность 1... 6 мм. Данный дефект, встречающийся на стальных и чугунных отливках, получил свое название по напоминающему сито внешнему виду поверхности отливки после механической обработки.

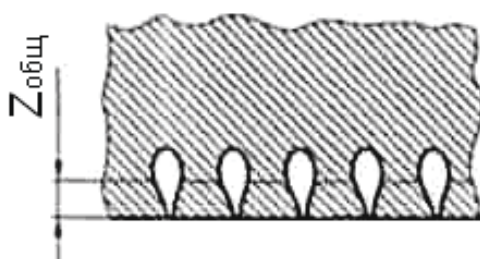
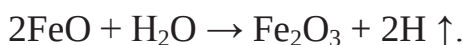
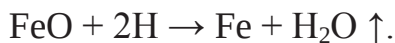


Рис. 14.8. Ситовидная пористость: $Z_{общ}$ — общий припуск на механическую обработку

Механизм образования ситовидной пористости в настоящее время до конца не ясен. По одному из вариантов объяснения появления ситовидной пористости в стальных отливках из-за плохой раскисленности металла или образования монооксида железа FeO при заливке сырой формы происходит реакция



Атомарный водород диффундирует к границе между твердой и жидкой фазами, где и происходит реакция восстановления монооксида железа с образованием водяного пара



Водяной пар не растворяется в жидком металле, и именно он вызывает появление изображенных на рис. 14.8 свищей, или ситовидной пористости.

Поэтому основной мерой для предотвращения данной пористости является раскисление стали алюминием в количестве 1,5 кг/т стали.

Для предотвращения образования ситовидной пористости в чугунных отливках необходимо, чтобы содержание алюминия и титана в металле было менее 0,01 и 0,02 % соответственно. Основные источники попадания алюминия в чугун — шихта, модификатор, например ферросилиций, в котором содержится 1,0–1,5 % алюминия.

Ситовидная пористость в чугунных отливках возникает также от стержней, изготовленных из смеси, связующее которой содержит значительное (до 10 % и выше) количество азота (табл. 4.22).

14.4. НАГРЕВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ФОРМЫ И СВЯЗАННЫЕ С ЭТИМ ЯВЛЕНИЯ

На начальном этапе заливки некоторые поверхности формы интенсивно нагреваются сначала только за счет излучения тепловой энергии жидкого металла. Далее в процессе заливки нагрев всех рабочих поверхностей формы происходит только за счет контакта с металлом. Результатом нагрева являются образование сухой корки формы, ее последующее термическое расширение и, как следствие, появление ужимин, трещин в безопочной форме и неоднородности линейной усадки отливки, а также ее зависимости от номинального значения рассматриваемого размера.

Для термического расширения сухой корки характерны некоторые особенности. Во-первых, оно не является свободным и происходит в условиях взаимодействия с основной массой смеси по зоне конденсации. Во-вторых, сухая корка образуется на всей рабочей поверхности и представляет собой сложную замкнутую напряженную конструкцию, напряжения в которой возникают из-за ее расширения и неоднородного распределения температуры по ее толщине. В-третьих, сухая корка является растущим телом, толщина и масса которого непрерывно увеличиваются. Рассмотрение напряженно-деформируемого состояния сухой корки как растущего тела показало, что, например, термическое расширение растущей сухой корки всегда больше, по сравнению с обычной нагреваемой сухой коркой. Более того, термического расширения сухой корки, казалось бы, происходить не должно, если на одной границе сухая корка имеет температуру, равную температуре испарения воды, а на другой – уменьшающуюся со временем температуру, равную температуре охлаждающейся отливки. Тем не менее, эксперименты показывают, что происходит непрерывное увеличение термического расширения сухой корки.

Далее будут рассмотрены явления, связанные с расширением сухой корки, с позиций обычных представлений, но при допущении, что сухая корка непрерывно расширяется. Следует отметить, что представления о растущем теле, используемые для исследования сухой корки, зоны конденсации и основной массы смеси в литейном производстве, необходимы также при рассмотрении напряженного состояния затвердевающей отливки, образования усадочных раковин и формирования стержней в нагреваемой оснастке с точки зрения формирования их размеров, усилий извлечения и т.п.

14.4.1. Ужимины

Одной из основных причин образования ужимин является образование сухой корки формы, ее нагрев и расширение. Поэтому ужимины справедливо относят к дефектам расширения формовочной смеси, так как они появляются на отливках, изготовленных в формах на основе кварцевого песка, и отсутствуют на отливках, изготовленных в формах на основе циркона, хромита, оливина, т.е. в формах из материалов, имеющих меньший температурный коэффициент линейного расширения, чем у кварцевого песка.

Самая распространенная схема образования ужимин на потолке формы представлена на рис. 14.9.

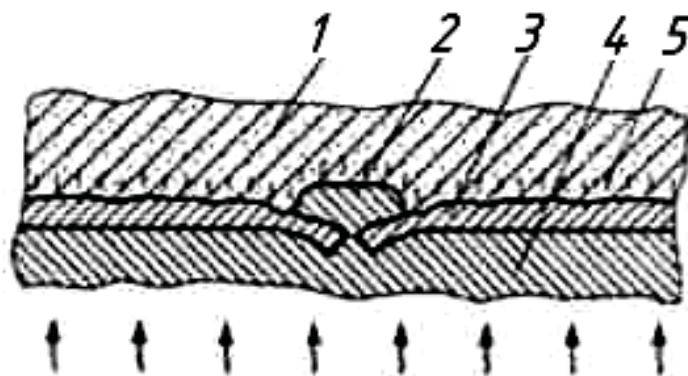


Рис. 14.9. Схема образования ужимины: 1 — основная масса смеси; 2 — ужимина; 3 — сухая корка; 4 — отливка; 5 — зона конденсации

Заливаемый металл своей излучательной энергией нагревает потолок формы, в результате образуются сухая корка и зона конденсации за ней. По мере подъема уровня металла в полости формы при его приближении к потолку формы в сухой корке либо уже образовалась трещина, либо она образуется от соударения с заливаемым металлом, который и заполнит трещину. Следовательно, время образования ужимин сопоставимо со временем заливки формы.

В нижней полуформе ужимины образуются, но реже и преимущественно при рассредоточенном струйном подводе металла.

При анализе образования ужимин используют, как правило, две схемы, из которых одну относят к незатрудненному (рис. 14.10, а), а другую — к затрудненному (рис. 14.10, б) образованию ужимин. Из названия должно быть ясно, что в первом случае ужимины образуются легче, чем во втором.

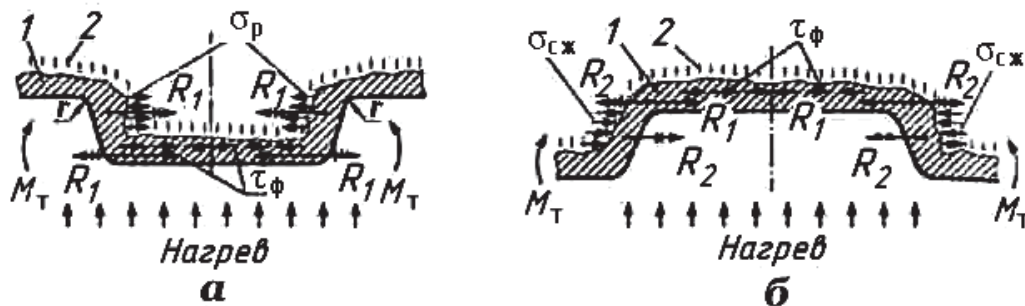


Рис. 14.10. Схема образования ужимин по варианту развития процесса: а — незатрудненному; б — затрудненному; 1 — сухая корка; 2 — зона конденсации; M_m — термический момент; R_1 — равнодействующая напряжений растяжения; σ_p — напряжения растяжения; τ_ϕ — касательные напряжения, воздействующие на сухую корку со стороны зоны конденсации; r — радиус сопряжения; R_2 — равнодействующая напряжений сжатия; $\sigma_{сж}$ — напряжение сжатия

Кроме момента сил R_1 и R_2 на сухую корку с неоднородным распределением температур действует термический момент, изгибающий сухую корку в сторону источника ее нагрева. «Термическим моментом» в технике называется момент, который вызывает такой же прогиб тела, как и тепловая нагрузка с неоднородным распределением температур.

Заметим также, что для случая, приведенного на рис. 14.10, а, момент сил R_1 и термический момент совпадают по знаку — они оба стремятся оторвать сухую корку, а в случае, показанном на рис. 14.10, б, они действуют в противоположных направлениях. При появлении некоторого прогиба от моментов он (прогиб) будет увеличиваться от действия продольных сил, действующих на горизонтальную сухую корку, — сил R_1 и R_2 и равнодействующей напряжений τ_ϕ сцепления. При этом прогиб в случае, приведенном на рис. 14.10, б, будет реализовываться в сторону смеси.

Очевидно, что вероятность отрыва сухой корки по варианту, изображенному на рис. 14.10, а, намного больше, чем по модели на рис. 14.10, б. Так как сухая корка является хрупким телом, сразу же после отрыва в ней появляется трещина, которая окажется заполненной металлом.

Следует отметить, что отрыв и трещины должны возникнуть в горизонтальной корке на небольшом расстоянии от места сопряжения сухой корки, образующейся на горизонтальной и наклонной поверхностях, так как зона действия моментов для сухой корки, связанной с основанием (основной массой смеси), ограничена, что и подтверждается практическими наблюдениями.

Также экспериментально установлено, что для случая на рис. 14.10, а ужимины не образуются, если нагревать только горизонтальный участок

сухой корки, закрыв теплоизолирующим материалом наклонные вертикальные поверхности. Следовательно, отрыв и трещина в сухой корке на развитых горизонтальных поверхностях могут возникать при наличии возмущений: неоднородных плотности, влажности и т.п.

Таким образом, на образование ужимин действуют три группы факторов, из которых первая влияет на термические напряжения в сухой корке, вторая – на прочность в зоне конденсации, по которой происходит отрыв сухой корки, и третья определяется конструкцией отливки.

При рассмотрении первой группы факторов учитываются термические напряжения σ_K в сухой корке, которые определяются из уравнения

$$\sigma_K = \alpha_K E_K \Delta T_K, \quad (14.9)$$

где α_K – температурный коэффициент линейного расширения E_K – модуль упругости сухой корки, Н/м²; ΔT_K – разность температур, К.

В сильной степени на образование ужимин влияет нагрев потолка формы, который, в первую очередь, зависит от продолжительности заливки. Известно, что существует критическое время образования ужимин, и поэтому заливку формы необходимо выполнять за возможно меньшее время, что приведет к меньшему нагреву формы. Кроме того, положительный эффект дает заливка формы в наклонном положении. Нагрев формы при этом существенно уменьшается. На рис. 14.11 показано, как происходит нагрев заливаемым металлом ограниченного участка наклонной поверхности. Из опыта также известно, что для предотвращения образования ужимин нужно потолок формы окрасить в белый цвет (увеличить его отражательную способность).

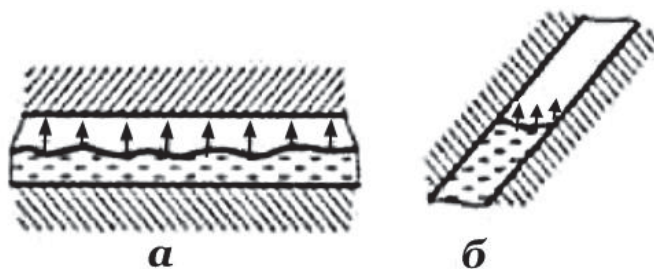


Рис. 14.11. Заливка формы в горизонтальном (а) и наклонном (б) положении (стрелками показано направление теплового потока)

Произведение $\alpha_K E_K$ в вышеприведенном уравнении лучше рассматривать как целое, зависящее от уплотненности формы, наличия и степени выгорания добавок в смеси. В текущем производстве контролируются потери при прокаливании. Это испытание в литейных цехах называют определением трех «п» – п.п.п. (подразд. 4.2), которые должны составлять не менее 4 %, в противном случае появляются ужимины и пригар.

Из практики также известно, что для уменьшения брака по ужиминам и пригару при изготовлении отливок из серого чугуна можно, как правило, употреблять отработанную смесь. Появление ужимин связано с отсутствием в смеси из свежих материалов оолитизированных зерен песка, покрытых несколькими слоями бентонита (потерявшей конституционную воду глины). Для справки: слово «оолитизированный», т.е. содержащий оолит (от греч. *ὄον* — яйцо + *lithos* — камень), означает яйцеподобный. Наличие рыхлой оолитной оболочки на зернах кварцевого песка облегчает расширение зерен и уменьшает термические напряжения.

Сильный пригар связан с отсутствием в смеси из свежих материалов «блестящего» углерода, который появляется после многократных заливок при наличии в смеси углеродистых добавок.

Ко второй группе факторов относится активирование кальциевого бентонита (в некоторых случаях введением соды непосредственно в бегуны), которое повышает прочность в зоне конденсации. В некоторых случаях в состав формовочной смеси вводятся волокнистые добавки, которые упрочняют связь сухой корки с основной массой смеси. Примером может служить использование костры, являющейся отходом льняного производства.

Анализ третьей группы факторов затруднен из-за конструктивного многообразия отливок. Однако следует отметить сильное влияние на образование ужимин радиуса r сопряжения, точнее радиуса перехода от одной горизонтальной поверхности к другой. Анализ показывает, что для предотвращения образования ужимин этот радиус должен быть больше, чем он принимается при конструировании отливок, когда учитываются возможности образования как усадочных дефектов, так и горячих трещин.

На практике наряду с мерами воздействия против образования ужимин перечисленными факторами на поверхность формы наносят противоужиминный рельеф: противоужиминную сетку, параллельные бороздки и вертикальные наколы на рабочей поверхности формы (рис. 14.12).

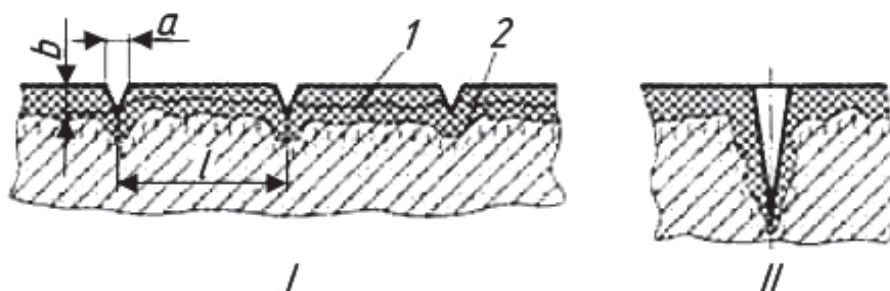


Рис. 14.12. Противоужиминная сетка и параллельные бороздки (I) «наколы» (II). Показаны последовательные толщины сухой корки в начальные (1) и последующие (2) моменты: a , b — соответственно ширина и глубина бороздки; l — шаг нанесенной сетки

В единичном производстве рельеф может быть нанесен вручную, в серийном и массовом производствах он выполняется на моделях. При этом противоужиминная сетка формируется на горизонтальных поверхностях, параллельные бороздки – на наклонных в направлении извлечения моделей (сетка будет препятствовать выему модели). Шпильки, для получения наколов, монтируются на моделях вертикально, а изготовленные наколы выполняют две функции: наряду с предотвращением образования ужимин служат газоотводными каналами.

Противоужиминная сетка и параллельные бороздки в первые моменты образования сухой корки являются температурными компенсаторами ее расширения. Далее, когда сухая корка будет образовываться и в углублениях, увеличиваются жесткость ребристой сухой корки и поверхность ее сцепления с основной массой смеси. Поэтому изгиб и отрыв образующейся при этом сухой корки будут затруднены по сравнению с плоской сухой коркой.

Шаг l противоужиминной сетки зависит от продолжительности заливки и прочности в зоне конденсации и выполняется 30... 100 мм. Чем больше продолжительность заливки и ниже прочность в зоне конденсации, тем меньше шаг сетки. Ширина a и глубина b выполняются 3...4 мм (рис. 14.12, Г).

Наколы также уменьшают склонность формы к образованию ужимин, так как на стенках наколов также образуется сухая корка, которая связывает горизонтальную сухую корку с основной массой смеси, препятствуя ее прогибам, расширению и отрыву. Минимальный диаметр наколов 3 мм, минимальная глубина 30 мм.

Следует отметить, что с появлением автоматических формовочных линий (АФЛ), в которых используются высокопрочные смеси, образование ужимин на отливках практически не происходит, что связано с повышенной прочностью этих смесей в зоне конденсации.

14.4.2. Засоры

Засорами всегда поражена отливка, если на ней обнаруживаются ужимины. Части поверхностной корки 3 (рис. 14.9) могут быть отделены и отнесены потоком металла в том или ином направлении, образуя в отливке засоры. Однако засоры нередко возникают и по другим причинам. Как указывалось выше, в результате воздействия жидкого металла на рабочую поверхность формы в тонком ее поверхностном слое возникают высокие напряжения, приводящие к выдавливанию с поверхности формы отдельных зерен или групп зерен.

При нагреве верхних поверхностей формы лучеиспусканием от зеркала металла, поднимающегося при заливке, иногда возникает так называемый песчаный «дождь», переходящий в песчаный «снег». Это очень опасное явление приводит к серьезному поражению отливки мелкими засорами.

Засоры возникают также в период заливки от так называемого размывания формы потоком металла. Если образование песчаного «дождя» логично объясняется тепловой напряженностью в поверхностном слое формы, то размывание формы требует пояснения.

При соприкосновении жидкого металла с формой (в литниках или уже в полости формы), во-первых, в поверхностном слое возникают тепловые напряжения, приводящие к той или иной степени разрушения формы. Отделившиеся от формы частицы уносятся потоком металла, и в отливке будут засоры. Во-вторых, в литниковой системе, вероятно, до окончания заливки не создается корка металла. Длительное и прямое механическое действие жидкого металла на форму при недостаточной механической прочности формы также приводит к отрыву частиц формы и образованию засоров. Естественно, что очагом засоров от механического воздействия жидкого металла в первую очередь является литниковая система.

Таким образом, для уменьшения засоров в отливках необходимо снижать величину напряжений (механических или тепловых) в поверхностном слое формы и повышать механическую прочность соединения структурных составляющих материала формы.

Снижение механического воздействия жидкого металла может быть достигнуто плавностью подвода металла в форму (исключение прямого удара струи металла о стенки формы), рассредоточением подвода металла и уменьшением интенсивности вихревых движений. Снижение тепловых напряжений достигается за счет теплоизолирующих красок, выбором метода формовки, при котором теплоизлучение воздействует на поверхность формы в течение малого времени, вводом в форму дымообразующих материалов, смягчающих действие теплоты излучения на поверхность формы, подбором облицовочных смесей с низкими упругими и высокими остаточными деформациями, а также с низким коэффициентом теплового расширения α , повышением скорости заполнения формы.

Важнейшим направлением в борьбе со всеми видами технологических засоров является повышение механической прочности соединения структурных составляющих материала формы.

14.4.3. Основные условия борьбы с ужимами и засорами

Как видим, ужимы есть результат напряженного состояния слоя формы, прилегающего к рабочей поверхности, и оформляются они по-

сле отделения этого слоя от основной массы формы. Меры борьбы с этим пороком следующие:

- следует подбирать смеси, в которых создаются низкие термические напряжения;
- смеси должны обладать высокой прочностью на разрыв;
- смеси должны обладать достаточно большой склонностью к релаксации напряжений.

При сырой формовке основное внимание должно уделяться первому требованию, т. е. снижению термических напряжений.

Смеси могут иметь одинаковое свободное тепловое расширение, но могут создаваться разные внутренние напряжения в рабочем слое или они обладают разной прочностью на отрыв в условиях формы. Смеси с пониженной температурой спекаемости менее склонны к образованию ужимин, так как в них более быстро наступает релаксация напряжений. Вот почему бентонитовые смеси являются более стойкими.

В борьбе с засорами основное внимание должно обращаться на литниковые ходы. Нельзя литниковые ходы делать с плоскими поверхностями, они должны быть вогнутыми. Литниковые смеси должны обладать повышенной прочностью, а также они должны быть окрашены специальными красками, обеспечивающими быстрое спекание поверхностного слоя.

14.5. ПРИГАР НА ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК

В период заливки, затвердевания и охлаждения отливки в той или иной степени к ее поверхности прилипает или приваривается песок, что в принятой терминологии называют пригаром. Пригар возникает в результате тепловых, механических и физико-химических процессов, которые проходят в период формирования отливки в некоторой зоне формы, прилегающей к поверхности металла. Высокая чистота поверхности отливок снижает затрату труда на их очистку. Чем меньше пригар, чем ниже спекаемость стержней, тем меньше тяжелого и часто ручного труда расходуется на очистку отливок.

Очистка отливок является тяжелой операцией и обычно вредной для здоровья людей. При незначительном пригаре песка к отливкам эта операция легче механизмуется, и таким образом может быть до минимума сокращено прямое участие человека в ее выполнении. Высокое качество поверхности отливки дает возможность ускорить внедрение механизации и автоматизации дальнейших процессов их механической обработки. Значительный пригар приводит к повышению припусков на механическую обработку. Чем выше пригар, тем выше прямые потери

металла, из которого изготавливается отливка, так как на формирование пригоревшего слоя в том или ином виде расходуется металл. Таким образом, является совершенно очевидным, насколько важно разработать методы производства отливок, которые бы обеспечили высокое качество их поверхности. Особенно значительный пригар возникает на стальных отливках, что обуславливается высокой температурой стали при заливке и ее физико-химическими свойствами.

В период формирования отливки на поверхности металл–форма возникает связующее вещество, скрепляющее поверхностный слой формы с отливкой. Если связующим веществом является сплав оксидов металла и оксидов ряда элементов, составляющих форму, то такой пригар принято называть химическим. В том случае, когда основой связки (связующего вещества) является сам металл или сплав, из которого изготавливается отливка, пригар называется механическим. Однако такое деление является условным и необходимым для наглядного представления и выяснения сложных процессов, происходящих на поверхности металл – форма. В действительности пригар – явление комплексное, и даже там, где связкой является какой-то силикатный расплав, силы сцепления определяются как механической прочностью связки, так и ее физико-химическими связями с металлическим основанием и материалом формы. Иначе говоря, прочность пригара, как и прочность при склеивании, определяется одновременно силами адгезии и когезии.

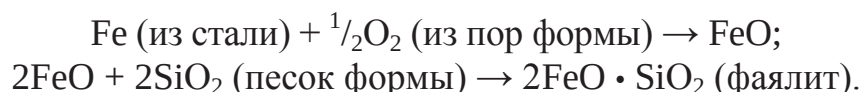
14.5.1. Химический пригар

Первым вопросом является вопрос о времени возникновения химического пригара.

Специальные опыты показывают, что химический пригар легко образуется на твердом металле. Наблюдения за качеством поверхности отливок приводят к выводу, что пригар на внешних поверхностях отливок образуется меньше, поэтому они чище. Исследованиями по затвердеванию отливок установлено, что образование твердой корки протекает быстрее прогрева формы. Все эти факты неопровержимо убеждают, что химический пригар происходит в период охлаждения и усадки отливки, т. е. в период контакта формы не с жидким металлом, а с полужатвердевшим (уже совершающим линейную усадку) или полностью затвердевшим, находящимся еще при очень высокой температуре.

Вторым вопросом является вопрос о формировании связующего вещества, которым прикрепляется (приклеивается) поверхностный слой формы к отливке. Из многочисленных исследований можно сделать вывод, что в пригоревшей корке содержится большое количество оксидов

металла. Если рассматривать чугунные и стальные отливки, то с полным основанием можно утверждать, что оксиды железа являются основной и главной причиной химического пригара. По всей вероятности, образование связки, создающее прочное прилипание песка к отливкам, происходит по следующей схеме:



Дополнительные выводы можно сделать из рассмотрения диаграммы плавкости $\text{SiO}_2 - \text{FeO}$ (рис. 14.13). Как видим, FeO плавится при относительно низкой температуре 1380°C . Таким образом, даже после затвердевания поверхностного слоя стальной отливки она имеет жидкий покров из оксидов железа, и этот жидкий покров имеет контакт с материалом формы.

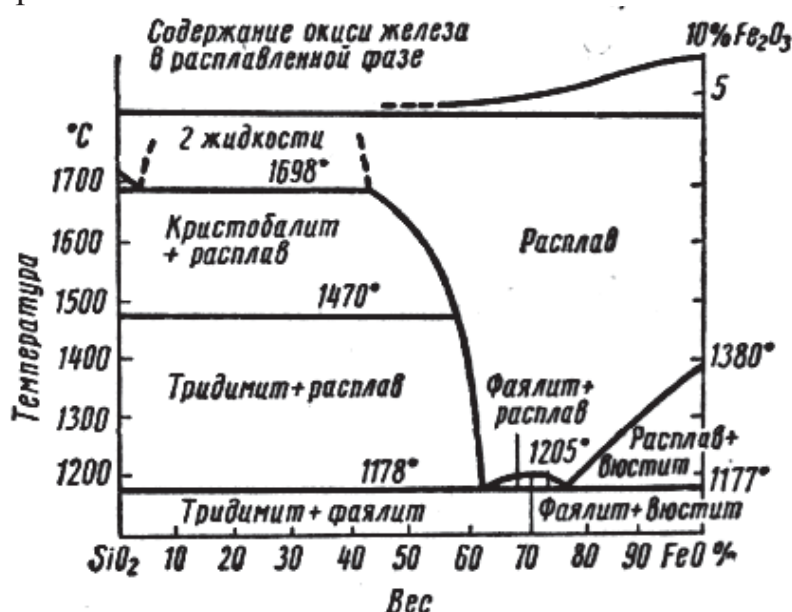


Рис. 14.13. Диаграмма состояния системы $\text{FeO}-\text{SiO}_2$.

При содержании 22 % SiO_2 образуется эвтектика с температурой плавления 1177°C .

Зная все это, можно представить себе картину формирования связки. Оксиды металла, вступая во взаимодействие с кремнеземом формы, создают жидкоподвижные соединения, проникающие в толщу формы. Глубина проникновения в толщу формы образовавшегося расплава определяется его количеством и температурой формы. Количество эвтектического расплава $\text{FeO}-\text{SiO}_2$ будет тем больше, чем больше возникает FeO на поверхности отливки. Температура поверхностного слоя фор-

мы тем выше, глубина прогрева формы до температуры 1177 °С тем больше, чем массивнее отливка.

Однако описанная схема отвечает только на один вопрос: как возникает связка и как эта связка проникает в толщу формы, образуя спекшийся слой формы, прилегающий к отливке. В практике нередко наблюдается, что весьма значительный по толщине спекшийся слой формы, пронизанный оксидами металла, легко и даже самопроизвольно отделяется от отливки. Значит для возникновения пригара необходимы такие условия, при которых поверхностный слой формы, пронизанный оксидами металла, достаточно прочно соединяется с поверхностью отливки.

Спекшийся слой пристаёт к отливке только при определенных условиях. Установлено, что чем продолжительнее контакт отливки с формой и чем выше температура отливки в течение периода контакта, тем легче получить легкоотделяемый пригар. Эта закономерность выражается следующей эмпирической зависимостью:

$$\pi = \sqrt[k]{a/T}, \quad (14.10)$$

где τ – необходимое время в мин. контакта образца с формой (образец диаметром 15 и высотой 20 мм, заформовывался в стандартный образец опытной смеси и нагревался током высокой частоты); T – температура чугуна в °С; a и K – эмпирические коэффициенты (при скорости охлаждения образца 80 °С/мин $a = 1550$ и $K = 0,047$).

В табл. 14.1 приведен химический состав пригоревшего слоя формы.

Таблица 14.1

Химический состав пригоревшего слоя формы с различным характером пригара

Характер пригара	Содержание окислов в %			
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO
Легкоотделяемый	89,56	3,45	2,27	1,34
Трудноотделяемый	92,5	2,64	0,13	0,5

Примечание. Чугун марки СЧ 15-32; смесь содержит: 5 % глины + 6 % жидкого стекла + 1 % NaOH

Как видно, легкоотделяемый пригоревший слой имеет более высокое содержание оксидов металла. Основное же отличие рассматриваемых слоев состоит в их строении. Легкоотделяемая корка содержит значительное количество стекловидного вещества (до 15–20 %) и имеет аморфное строение, а трудноотделяемый слой – кристаллическое.

Строение пригоревшего слоя зависит от его химического состава и скорости охлаждения. Чем больше содержится в нем оксидов металла, и чем выше скорость охлаждения, тем скорее возникает аморфная структура. Пригоревшая корка на стальных отливках по сравнению с чугунными, как правило, содержит большее количество FeO, MnO и других оксидов металла, что и является причиной менее прочного присоединения ее к отливке. Внутренние поверхности отливок охлаждаются с меньшей скоростью, и это приводит к получению более прочного пригара на этих поверхностях.

Итак, одним из путей борьбы с пригаром на внешних поверхностях отливок является создание условий, благоприятствующих возникновению стеклообразной спекшейся корки. Это достигается добавкой жидкого стекла к смесям и повышенным содержанием в них оксидов металла. Последние проникают в смесь в период формирования отливки и могут даже вводиться искусственно.

Но этот путь борьбы с пригаром имеет свои недостатки. Во-первых, происходит прямая потеря металла, при поверхностном окислении отливки. Во-вторых, снизить высокопрочное спекание на участках с затрудненной теплоотдачей этим путем все же не удастся. Таким образом, необходимо разработать метод снижения пригара, лишенный указанных недостатков. Идеальным решением задачи является такое, при котором не возникает поверхностное окисление металла и тем самым не образуется связующее вещество.

В обычных условиях создать бескислородную атмосферу (восстановительную или вакуум) практически невозможно. Наиболее целесообразным является создание защитных покрытий на поверхности формы, предохраняющих отливки от окисления. Долголетняя практика Уралмашзавода (предложение старейшего литейщика Урала П. Г. Антонова) доказала исключительную целесообразность применения красок и облицовок из молотого хромистого железняка. При контакте с жидким металлом поверхностный слой формы из хромистого железняка спекается в плотную газонепроницаемую корку, прилегающую к поверхности отливки.

Технология приготовления краски и процесс окраски форм хромистым железняком разработаны на Уралмашзаводе. Хромистый железняк должен содержать не менее 36 % оксида хрома, потери при прокаливании его не должны превышать 2 %. Хромистый железняк для краски или для пасты, как принято называть на заводе, размалывается и просеивается через сито с ячейками 1 x 1 мм. Состав краски по объему: 88 % хромистого железняка, 10–12 % патоки, до 2 % декстрина, воды до необходимой вязкости.

Краска готовится в бегунах и контролируется на вискозиметре типа вискозиметра НИЛК со следующими изменениями: объем воронки 175 см^3 , диаметр выпускного отверстия 9 мм, пробковый кран воронки НИЛК заменен запорной иглой. Краска должна быть такой, чтобы обеспечивалось ее вытекание из воронки вискозиметра за 40 – 60 сек. В связи с повышенной вязкостью этой краски по сравнению с обычной она наносится специальным пульверизатором, изображенным на рис. 14.14.

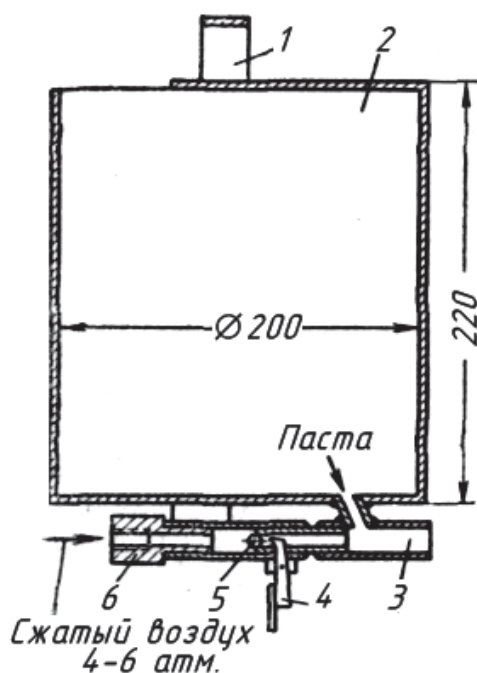


Рис. 14.14. Пульверизатор для покрытия формы пастой: 1 – ручка; 2 – бак; 3 – цилиндрическая насадка; 4 – курок; 5 – шарик; 6 – муфта

Формы и стержни до их сушки покрываются краской из хромистого железняка толщиной слоя от 1,5 до 4 мм. Сушка форм производится при температуре 360–380 °С.

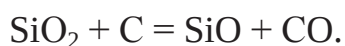
Наиболее просто решается задача предупреждения образования химического пригара на чугунном литье, изготовляемом в сухих формах с применением графитовых или графито-коксовых красок. Если описанная выше краска для стальных отливок является защитной, то коксо-графитовые краски, применяемые при производстве чугунных отливок, должна быть названы изолирующими. Коксо-графитовые краски слабо предохраняют поверхность отливок от окисляющего действия атмосферы. Но эти краски для чугунных отливок (и отливок из цветных металлов) обладают двумя преимуществами:

- высокой огнеупорностью;

– химической инертностью по отношению к окислам металла и составляющим формы.

Наличие в краске кокса, графита и древесного угля предупреждает возможность контакта оксидов, возникающих при формировании отливки, с оксидами SiO_2 и Al_2O_3 , составляющими форму. Оксиды с поверхности отливки не расходятся, а значит, не возникает связка и потери металла будут минимальными. Таким образом, возникший слой оксидов остается на поверхности отливки и предохраняет ее от дальнейшего окисления.

К сожалению, эти краски не могут быть применены при изготовлении стальных отливок, так как по отношению к стали углеродосодержащие краски не являются химически инертными; возникает активная реакция $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$ и поверхность отливки, свободная от пригара, поражается газовыми раковинами. В условиях, которые создаются при заливке стали в песчаные формы, возможна также следующая реакция:



В этом случае возникает два газообразных вещества SiO и CO .

В свете изложенной теории химического пригара рассмотрим некоторые факты из практики, что дополнительно поможет уточнить пути борьбы с рассматриваемым пороком.

Отливки из высоколегированной хромом и никелем стали имеют незначительный пригар только потому, что эта сталь менее склонна, чем другие, к окислению, а получающиеся оксиды хрома не реагируют с материалом формы. Наоборот, отливки из высокомарганцевистой стали (аустенитной) получают со значительным пригаром, часто с неудовлетворительным качеством поверхности вследствие высокой химической активности железомарганцевистых оксидов. Обычно на крупных отливках из этой стали, изготавливаемых в сухих песчано-глинистых формах, возникает расплавленный поверхностный слой формы толщиной до 10–15 мм, являющийся расплавом системы MnO-SiO_2 . Отливки при этом получают с неровной, ноздреватой, загрязненной песком поверхностью.

Обилие оксидов на поверхности отливки из марганцевистой стали приводит не только к образованию обильной связки, но и к реакции восстановления оксидов углеродом самого металла, а это способствует поражению некоторой части поверхности отливки газовыми раковинами.

В настоящее время получение чистых поверхностей отливок из марганцевистой стали достигается применением следующих технологических приемов:

– заливкой в изолированные металлические формы;

- заливкой в сырые формы (относится к изготовлению мелких отливок);
- покрытием форм и стержней красками из хромистого железняка.

Заливка в изолированные металлические формы (металлическая форма, облицованная формовочной смесью слоем 20–30 мм) обеспечивает получение достаточно чистых поверхностей отливок за счет увеличенной скорости охлаждения отливки; это приводит к сокращению продолжительности химических реакций на поверхности металл–форма, которые практически могут совсем не возникнуть. Такое же положительное действие оказывает заливка в сырые формы при изготовлении мелких отливок.

Изготовление чугунных отливок в формах с применением жидкого стекла приводит часто к образованию толстого слоя пригара, прочно приставшего к отливке. Объясняется это недостаточным количеством образовавшихся окислов металла для получения стеклообразной связки. Таким образом, применять смеси на жидком стекле для чугунного литья можно только в сочетании с изолирующими красками.

Рекомендуемые изолирующие краски:

а) при поверхностной сушке форм и стержней горячими газами: 13 % (по весу) графита серебристого; 27 % графита черного; 2,5 % бентонита; 7,5 % сульфитно-спиртовой барды уд. веса 1,28–1,30; 50 % воды.

б) при изготовлении химически твердеющих форм и стержней (на жидком стекле с продувкой углекислым газом): 10 % (по весу) пека древесного (молотого); 10 % графита серебристого; 80 % графита черного; спирта до плотности 1,25–1,28.

Итак, оксиды, их свойства, их взаимодействие с материалом формы определяют химический пригар песка к отливкам.

14.5.2. Механический пригар

Под этим понимают такой пригар, при котором связкой служит сам металл. В период заливки и затвердевания металл проникает в толщу формы или стержня и механически прикрепляет к отливке тот формовочный слой, в который ему удалось проникнуть. Это очень опасный вид пригара, так как прочность получающейся пригарной корки нередко настолько значительна, что очистка отливки превращается в серьезную проблему. Особенно трудно удалять получившиеся таким образом металлизированные стержни. Механический пригар вызывает чрезвычайные осложнения при механической обработке отливок, так как, даже небольшие остатки пригоревшего слоя с металлической связкой, обычными резцами не могут быть удалены.

Существует мнение, что металл проникает в толщу формы до начала затвердевания, т. е. сейчас же по заполнении формы, или даже в период заливки. При этом считается, что естественная пористость формы (стержня) есть основная причина ее металлизации. Однако имеются убедительные факты, противоречащие этому мнению. В связи с тем, что металл не смачивает формы (гидрофобный по отношению к форме), требуется затратить определенное усилие для ввода жидкого металла в поры формы.

Объемная скорость течения металла обратно пропорциональна вязкости. В свою очередь, вязкость определяется температурой металла: чем ниже температура, тем выше вязкость. Так как в момент заливки поверхностные слои металла резко охлаждаются, то естественно предположить и резкое увеличение вязкости, а значит, будет резко затруднено проникновение металла в поры формы.

Это же достаточно уверенно подтверждают прямые опыты при изучении механического пригара на формах.

Значительный механический пригар на формах и стержнях возникает через некоторое время после заливки, когда форма (стержень) подвергнется тепловому и механическому воздействию жидкого металла. В результате некоторой усадки затвердевающего металла, под химическим воздействием оксидов металла у части формы, соприкасающейся с отливкой, создаются новые поры, несплошности и рыхлости. В эти поры и будет проникать жидкий расплав из центральных зон через полужатвердевшие поверхностные зоны отливки. Если корка затвердевшего металла, образовавшаяся в первый период после заливки, вследствие замедленной теплоотдачи частично или полностью расплавится, то механический пригар увеличится. Механическим пригаром, вполне естественно, поражаются участки формы с затрудненной теплоотдачей, прогревающиеся довольно быстро до высоких температур.

Механический пригар связан с весьма значительными прямыми потерями металла, которые в результате «выпотевания» достигают 2 %.

Несколько по-иному происходит механический пригар в тех случаях, когда в стержнях или формах имеется такой крепитель, который обеспечивает резкое улучшение смачиваемости смеси металлом. Так, при изготовлении смесей на торфяном пеке получается нередко большой механический пригар: металл иногда проникает в стержни на расстояние 500 мм и более. Это объясняется следующим:

– торфяной пек делает смеси малотекучими, а значит, после уплотнения форма (стержень) имеет повышенную пористость;

– образующаяся на поверхности зерен формы пленка торфяного кокса резко улучшает смачиваемость формы металлом (способствует уменьшению краевого угла смачивания θ).

Не исключено такое уменьшение краевого угла смачивания, при котором капиллярные силы $\frac{2 \sigma \cos \theta}{r \rho g}$ станут положительными и форма или стержень начнут всасывать в себя металл: где r – радиус поры формы, ρ – плотность металла, g – ускорение силы тяжести, σ – поверхностное натяжения металла, θ – краевой угол смачивания.

Это явление надо иметь в виду при выборе связующих материалов. Такое же явление происходит в результате окисления металла.

Собственно механический пригар маловероятен. Возникающий пригар можно назвать физико-механическим, так как ему предшествует ряд физических процессов, происходящих в поверхностном слое формы (стержня). Вместе с тем здесь идут и химические реакции, способствующие пригару.

Отсюда заключение: пригар может быть химико-механическим или механико-химическим, т. е. комплексным.

На основании изложенного применяемые практические меры борьбы с пригаром. Поверхностно-механический пригар, когда с отливкой механически сцеплен относительно тонкий поверхностный слой (обычно не более 2,0 мм), предупреждается защитными красками или красками, уменьшающими поверхностную пористость. Наиболее распространенной, применяемой в этих целях при изготовлении стальных отливок, является маршалитовая краска. Маршалит или кварцевая мука, содержащая более 98 % SiO_2 , применяется в водных красках в сталелитейном производстве с добавкой какого-либо крепителя (краска состоит из воды, органического крепителя и маршалита, плотность по ареометру 1,15–1,25). С этой же целью, т. е. для уменьшения размеров пор (среднего радиуса каналов r), в формовочные и стержневые смеси иногда вводятся такие, например, уплотняющие добавки, как маршалит (до 40 %), мелкозернистый кварцевый песок, молотый кварц. В смеси для отливки в сырые формы чугуна добавляется каменный уголь; выделяющийся из каменного угля газ при заливке форм не допускает заполнения пор формы металлом, является своеобразным изолирующим покрытием.

Наиболее сложной является задача предупреждения более значительного механического пригара, металлизации значительных объемов формы и стержней. В этом случае как защитные, так и изолирующие краски не могут оказать помощь. В самом деле, если, например, в результате длительного действия высокой температуры стали на песчано-

глинистый стержень начнется его спекание, то в нем возникают значительные свищи, поры, несплошности (при спекании материал стержня занимает меньший объем), и если к этому времени поверхностная корка отливки находится еще в твердожидком состоянии и способна пропускать через себя расплав из глубинных зон, то слой защитной краски не сможет удержать этот расплав в отливке. Больше того, слой краски будет разрушен или при расплавлении первичной корки отливки, или при спекании материала формы (стержня).

Опыт показал, что нужно идти по пути создания толстого и прочного защитного слоя и применять так называемые двухслойные стержни. При изготовлении стальных отливок толстый слой создается облицовкой форм и стержней, работающих в особо тяжелых условиях, смесью из хромистого железняка с содержанием не менее 36 % Cr_2O_3 и не более 1,5 % CaO .

Хромистый железняк после размалывания просеивается через сито с ячейкой 3 x 3 мм. Внутренний слой таких двухслойных стержней готовится из легковыбиваемой смеси, например, из песчаной смеси на органическом крепителе. Облицовочная смесь из хромомагнезита на жидком стекле аналогична облицовочной смеси из хромистого железняка. При применении указанных смесей на отливке возникает достаточно толстый, спекшийся в плотную массу облицовочный слой, который прочно закрывает выход расплава через поверхность отливки. Этот слой оформляется до разрыхления последующей части формы и, таким образом, при разрыхлении песчаной части сам уже не разрушается.

14.5.3. Спекание смесей

В заключение необходимо коротко остановиться на спекании смесей, которое, не являясь пригаром, вызывает подчас значительные затруднения при очистке отливок. Если часть формы нагреется до температур, при которых происходит спекание составляющих смеси или ее плавление, и если эта часть формы образует карман, то удаление спекшейся части ее при очистке остывшей отливки вызывает большие затруднения. Такая часть формы не может быть удалена в гидроочистной установке, и, как правило, требуется эту тяжелую операцию выполнять вручную. Особенно трудно удалять из отливки спеченные или сплавившиеся стержни. Спекание материалов формы или стержня определяется их огнеупорностью, т. е. свойством противостоять, не сплавляясь, действию высоких температур. Огнеупорность определяется составом смесей.

На рис. 14.15. приведено изменение огнеупорности песчано-глинистых смесей. Как видим, при повышении содержания глины

резко снижается огнеупорность смеси. Особенно сильно снижает огнеупорность смесей добавка красных глин, загрязненных плавнями. Это не означает, что следует стремиться подбирать смеси с достаточно высокой огнеупорностью. Выход найден более простой. В тех случаях, когда возникает опасность нагрева части форм или стержней до температур спекания, а это можно заранее рассчитать, в смесь вводят инертные разделительные добавки.

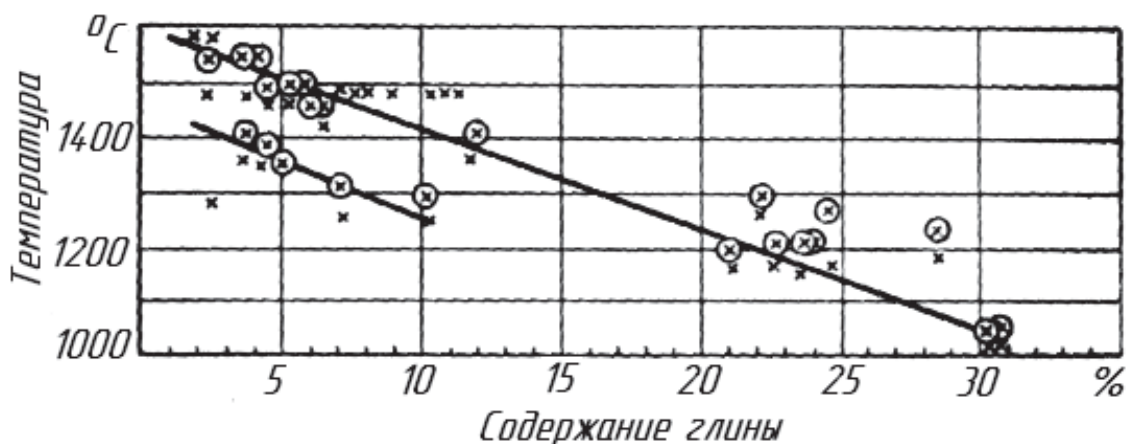


Рис. 14.15. Влияние глинистой составляющей на огнеупорность смеси.

При изготовлении доменных шлаковых ковшей облицовочный слой болвана облицовывался смесью на основе низкоогнеупорной красной формовочной глины. Возникли чрезвычайно серьезные затруднения при выбивке. Выбивка проходила несколько смен, и качество внутренней поверхности ковша было низкое. После того как в эту смесь ввели 15 % коксовой муки, выбивка болвана стала производиться за несколько часов и качество ковшей резко улучшилось.

Слабой спекаемостью обладают смеси на органических связующих. Вот почему часто внутреннюю часть стержней, работающих в особо тяжелых температурных условиях, выполняют из смесей на этих связующих. Меньшая склонность к спекаемости песчаных стержней на органических крепителях объясняется высокой огнеупорностью песка и разделяющим действием крепителя.

Для уменьшения спекаемости заоблицовочный слой формы и внутренняя часть стержней выполняются из смесей с добавками древесной муки, опилок или торфяной муки. Эти материалы также являются хорошими разделителями и вместе с тем обеспечивают хорошую податливость формы и стержней. В данном случае увеличение податливости важно по причине снижения давления на стержень. Давление на стержень

жень возникает в результате усадки отливки и в результате «роста» самого стержня. Это давление уплотняет стержень, облегчает условия спекания и ухудшает его выбиваемость.

14.6. СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПРИГАРА В ОТЛИВКАХ

Способы уменьшения пригара в отливках заключаются в ограничении его образования и в уменьшении сцепления пригара поверхностью отливки (табл. 14.2).

Таблица 14.2

Причины образования механического пригара и меры по его предотвращению

Группа	Основные причины	Меры по предотвращению пригара
I	Большое смачивание формовочной и стержневой смеси жидким металлом	Уменьшить окисление металла при плавке Ограничить окисление металла при его заливке в форму Ограничить содержание серы в металле Использовать формовочные материалы, не смачиваемые жидким металлом
II	Большое давление жидкого металла на стенки литейной формы	Отливать высокие детали в горизонтальном положении Уменьшить высоту прибылей Уменьшить силу удара струи жидкого металла Смягчить удар поднимающегося жидкого металла в верхнюю стенку формы
III	Большая пористость формы и стержня	Уменьшить зернистость песка Использовать рассредоточенный песок Ввести в смесь пылевидные материалы, снижающие пористость Увеличить степень уплотнения формы и стержня Повысить температуру сушки формовочной смеси Предохранять рабочий слой формы от механических повреждений Повышать поверхностную прочность формы Наносить на поверхность формы или стержня противопопригарные покрытия Предотвращать появление трещин в форме

IV	Продолжительное время нахождения металла в форме в жидком состоянии	Использовать облицовочные смеси с высокой теплоаккумулирующей способностью Создавать искусственный теплоотвод Снизить температуру заливки металла Улучшить технологичность отливки, в частности, пересмотреть конструкцию тепловых узлов

В табл. 14.3 приведены способы получения легкоотделимого пригара на стальных отливках, изготовленных в песчаных формах.

Таблица 14.3

Способы получения легкоотделимого пригара

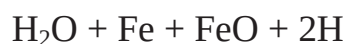
Цель	Способ
Увеличение содержания оксидов железа на границе действия металл–форма	Применять добавки окислительного действия Применять краски окислительного действия Извлекать отливки из формы сразу после их затвердения Использовать огнеупорные противопопригарные покрытия

Уменьшение смачивания формы жидким металлом. С увеличением смачивания формы жидким металлом пригар увеличивается. Чем больше окислен металл, тем активнее он смачивает форму. Следовательно, для снижения пригара необходимо ограничивать окисление металла.

Окисление металла уменьшается при заливке его в форму с углеродосодержащими добавками или окрашенную красками, содержащими графит или коксовую пыль. В процессе их сгорания в форме образуется восстановительная атмосфера. Первоначально углерод сгорает, превращаясь в CO_2 по реакции $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$. С повышением температуры в бескислородной среде протекает реакция $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$. Реакция протекает в правую сторону, что и определяет восстановительную атмосферу в литейной форме. Созданию восстановительной атмосферы способствует термодеструкция органических веществ, содержащихся в формовочной смеси. Металл не окисляется только в том случае, если восстановительная атмосфера образуется сразу же после заливки металла. Органические связующие материалы, содержащиеся в сухих формах и стержнях, медленно выделяют газы, так как часть их уже выделилась в процессе сушки. В таких формах трудно предупредить окисление желе-

за и марганца. *Древесный уголь* быстро создает восстановительную атмосферу, но быстро сгорает и не предупреждает окисление металла. Достаточное количество газов выделяет *мазут* и создает устойчивую восстановительную атмосферу. Он применяется в смеси в количестве 2–3 %, как надежное противопригарное средство. Однако мазут очень газотворен и увеличение его количества может привести к появлению в отливках газовых раковин. По этой причине следует ограничивать применение красок на основе *нефти* или *керосина*, которые еще используют при окраске сырых форм. Хорошие результаты получают, применяя каменный уголь с большим количеством летучих или подобные ему синтетические материалы.

Сталь, заливаемая в сырую форму, окисляется водяным паром



Со снижением влажности формы уменьшается окисление металла. Химически инертные цирконовые пески не смачиваются металлом, и поэтому отливки получаются с малым пригаром.

Ограничение давления жидкого металла на стенки формы. Серый чугун при кристаллизации выделяет эвтектический графит и увеличивает свой объем. Расширение чугуна вызывает увеличение давления на стенки формы. При неправильной конструкции тепловых узлов такое расширение чугуна увеличивает пригар. На рис. 14.16 показан тепловой узел, на поверхности которого длительно не образовывался слой твердого металла и расширяющийся чугун проник в поры формы. Изменив конструкцию отливки, можно предупредить образование пригара на поверхности отливки.

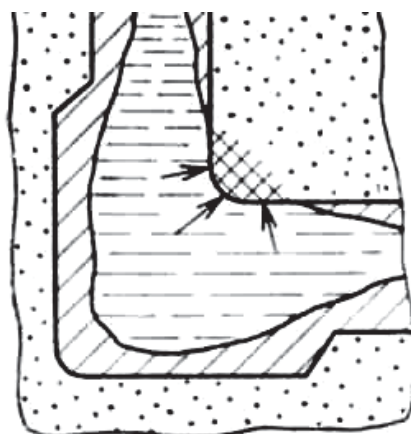


Рис. 14.16. Проникновение жидкого чугуна в поры стержня, находящегося в зоне теплового узла

Особые меры следует принимать при изготовлении высоких отливок. На рис. 14.17 показано распределение пригара на отливке из стали весом 10 т. Большой пригар вызван неправильным окрашиванием стержня краской небольшой густоты. Большая часть краски адсорбировалась смесью и не защитила кварцевые зерна. Трехкратное окрашивание более густой краской резко уменьшило пригар.

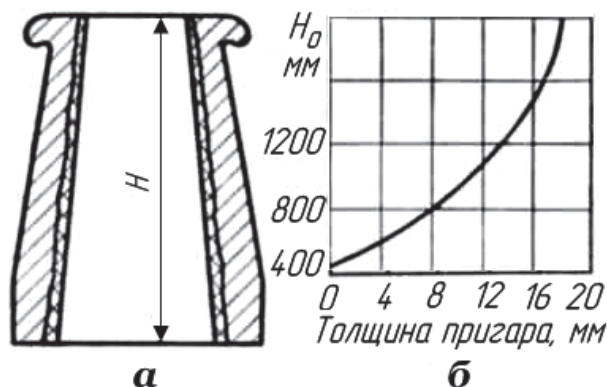


Рис. 14.17. Стальная отливка а и распределение в ней пригара (б)

Динамический напор вызывает большой пригар, особенно если металл подводится через тонкие стенки, расположенные между формой и стержнем. Эрозия формы способствует пригару. Изменение расположения питателей, расширение их в направлении полости формы, увеличение количества питателей, создание соединительных каналов в стержне и в форме уменьшают пригар (рис. 14.18).

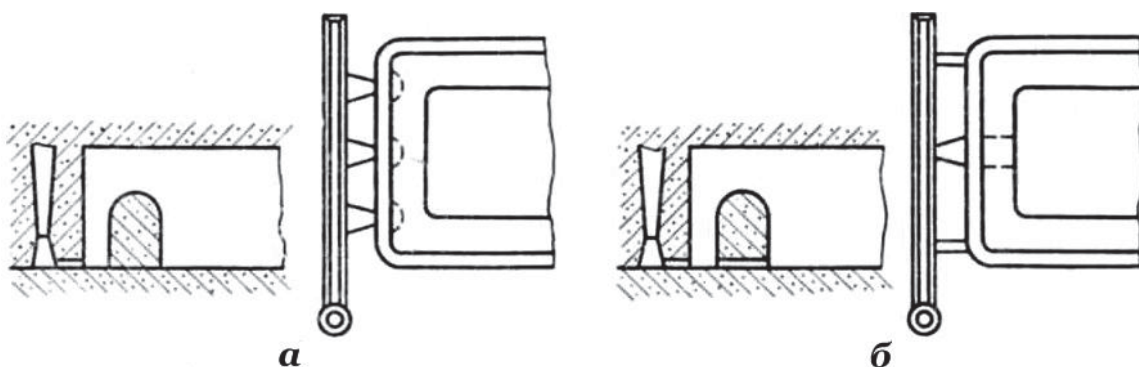


Рис. 14.18. Влияние динамического давления металла на пригар:
а — неправильное; б — правильное

Для уменьшения давления, создаваемого газовыми выделениями в полости формы, следует установить достаточное количество выпоров.

Уменьшение пористости в форме и в стержне. Введение в смесь мелкозернистых противопригарных материалов уменьшает пригар, так как они уменьшают размеры пор между зернами песка. В процессе литья стали используют *кварцевую, шамотную и цирконовую* пыль. Кварцевая пыль так же, как и кварцевый песок, имеет большой коэффициент теплового расширения, поэтому форма, выполненная из кварцевых материалов, склонна к растрескиванию. После замены кварцевой пыли на цирконовую термоустойчивость смеси повышается и трещины появляются редко. Обычно в облицовочные смеси вводят 10–20 % цирконового порошка, но иногда при отливке крупных стальных заготовок его количество достигает 50 %. Цирконовый порошок следует вводить в смесь только тогда, когда форма во время заливки растрескивается, в противном случае действие цирконового и кварцевого порошка будет идентичным.

В восстановительной атмосфере в процессе заливки металла *каменный уголь* увеличивает свой объем в 5–10 раз. Он уплотняет поры формы и ограничивает проникновение жидкого металла.

Отливки без пригара получаются в хорошо уплотненных формах. Влияние степени уплотнения на величину пригара показано на рис. 14.19. В случае чрезмерного уплотнения формы качество поверхности отливки может ухудшиться.

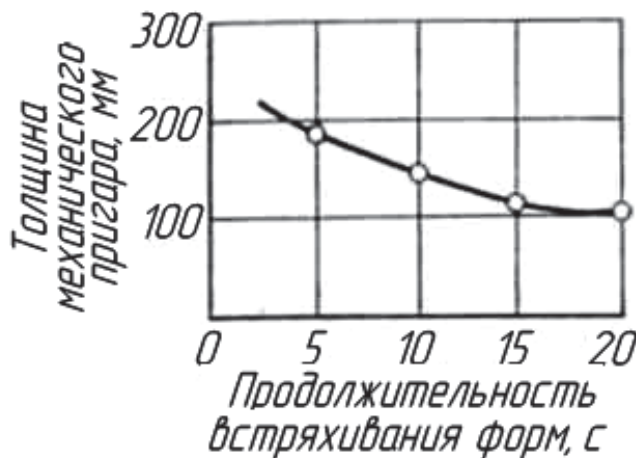


Рис. 14.19. Влияние уплотнения формы на величину пригара

Уплотнение литейной формы должно быть равномерным. Часто механический пригар появляется на неравномерно уплотненных участках. Недоуплотнение не компенсируется противопригарными покрытиями.

Если огнеупорность смеси мала, то отдельные зерна спекаются в conglomerates, увеличиваются поры и образуется механический пригар. Спекание приводит к превращению термического пригара в механический.

Огнеупорность определяется не только типом песка, но и качеством и количеством применяемых связующих материалов

Больше всего понижает огнеупорность жидкое стекло, затем кальциевый, активированный кальциевый и натриевый бентониты и органические связующие вещества. Температура спекания песка при различных добавках приведена в табл. 14.4.

Огнеупорность чистого песка снижают малые примеси щелочных оксидов, содержащихся в шпатах, слюдах и др.

Таблица 14.4

Влияние добавок на температуру спекания песка

Вид песка	Температура спекания песка, °С			
	без связующего	с 6 % жидкого стекла	с 6 % активированного бентонита	с 6 % натриевого бентонита
Кварцевый	1450	1200	1250	1350
Кварцево-полевошпатовый	1250	1000	1100	1150

С увеличением пористости формы растут ее газопроницаемость и степень пригара. Кривая зависимости имеет почти линейный характер (рис. 14.20). Оптимальное сочетание высокой газопроницаемости формы со слабым проникновением металла в поры формы достигается ее окрашиванием. Противопригарные краски уменьшают пористость поверхности формы и позволяют получать чистую отливку при большом металлостатическом давлении. Покрытие формы противопригарной цирконовой краской увеличило критическую высоту металлостатического напора от 600 до 2400 мм и повысило качество поверхности отливки.

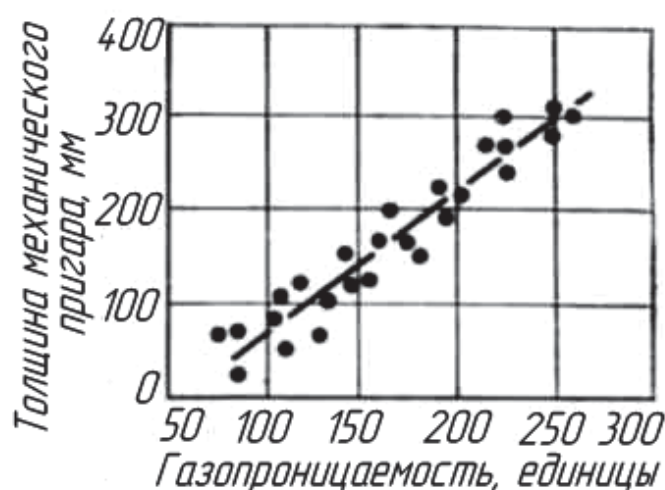


Рис. 14.20. Зависимость пригара от газопроницаемости формы

Если поверхность формы нарушена, то металл проникает в расположенный под ней уплотненный слой. Вследствие нарушения поверхностного слоя затрудняется отделение смеси от модели. Когда когезионные силы, действующие между частицами смеси, меньше адгезионных сил, действующих между частицами модели и смеси, к модели прилипает смесь. Величина когезионных сил зависит от прочности смеси на разрыв в сыром состоянии. В случае уплотнения формы с использованием алюминиевых моделей адгезионные силы увеличиваются в 2 раза быстрее, чем возрастает прочность смеси на разрыв (рис. 14.21).

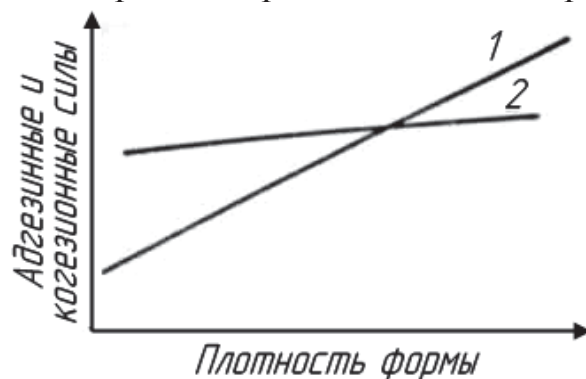


Рис. 14.21. Адгезия между смесью и моделью (1) и когезия смеси (2)

Точка пересечения двух кривых соответствует равновесию адгезионных и когезионных сил. Надежным средством против прилипания смеси являются разделительные покрытия. Пылевидные разделительные покрытия должны прилипать к смеси и не прилипать к модели. Наилучшие результаты получаются при использовании ликоподия (сухие споры растений-плавунов). В связи с его дефицитностью часто применяют серебристый графит.

Жидкие разделительные покрытия должны хорошо прилипать к моделям и не смачивать форму. В этом случае не потребуются больших усилий для съема формы. Хорошие результаты получаются при использовании смеси керосина с олеиновой кислотой.

Смеси с жидким стеклом, фурановыми и фенольными смолами сильно прилипают к оснастке, окрашенной масляными красками. Для этих смесей рекомендуется использовать краски на ацетоне. Хорошие результаты дает окрашивание *нитроцеллюлозной эмалью* оснастки для фурановых смесей. С течением времени на стенках ящиков или моделей образуется налет, который затрудняет разъем оснастки и увеличивает шероховатость поверхности отливок. Для очистки оснастки применяют водную смесь, в состав которой входит 6 % жидкого стекла, 3 % целлюлозной массы, 1 % фосфата натрия и по 0,5 % натриевой щелочи и карбоксиме-

тилцеллюлозы. Указанная смесь наносится на загрязненное место и спустя 10 мин грязь легко удаляется протиранием.

При работе с самотвердеющими смесями нельзя закруглять острые углы у формы, так как в результате этого открываются крупные поры. Эти закругления должны быть выполнены в модельной оснастке. Нарушенную рабочую поверхность формы следует покрасить толстым слоем цирконовой краски.

Если поверхностный слой формы нарушен или в нем появились трещины, то металл проникает в слабо уплотненные внутренние части формы и образует большой пригар. Такой пригар получается, когда используют стержни, изготовленные из смесей, содержащих фурановое связующее. При заливке металла в стержне возникают тепловые напряжения, приводящие к трещинам шириною 2–3 мм и глубиною 30–40 мм. Получается очень толстая корка пригара, которая, однако, легко отделяется вследствие хорошего состояния слоя противопригарной краски. Пригар удерживается только прожилками металла, заполняющего трещины (рис. 14.22).

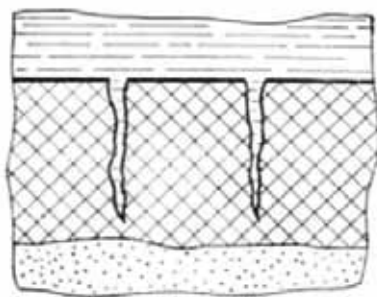


Рис. 14.22. Проникновение металла в трещины стержня

Ускорение затвердения металла в форме. Сокращение времени, в течение которого металл находится в форме в жидком состоянии, — главный фактор уменьшения пригара. Для этого существуют два направления: *снижение температуры заливаемого металла и повышение теплопроводности смеси.*

Теплопроводность смеси зависит от вида применяемого огнеупорного наполнителя. Смесей с цирконовым песком по сравнению с кварцевым имеют охлаждающую способность на 20 % выше. Теплопроводность хромитовой формы по сравнению с кварцево-глинистой в 5–7 раз выше. Только по одной этой причине пригар получается очень незначительным, если заменить кварц хромитом. Теплопроводность магнезита при нормальной температуре в 5–6 раз выше теплопроводности кварца, но при нагреве до температуры 1200 °С их теплопроводности сравниваются. Хромомагнезит занимает промежуточное положение между хромитом и магнезитом.

Применение материалов с высокой теплопроводностью в облицовочных смесях и противопопригарных покрытиях – распространенный способ предотвращения появления пригара в процессе изготовления стальных отливок.

Совместное влияние температуры заливки и теплоаккумулирующей способности смеси на глубину проникновения металла форму показано на рис. 14.23. Если применяется смесь с высокой теплоаккумулирующей способностью, то толщину облицовочного слоя принимают небольшой. Для отливки толщиной 50 мм достаточен слой облицовки толщиной 10–15 мм, однако на практике он всегда бывает больше, так как получить тонкий слой трудно.



Рис. 14.23. Проникновение жидкого металла в форму в зависимости от температуры его заливки (1) и теплоаккумулирующей способности смеси (2)

Способ увеличения газопроницаемости формы путем создания вентиляционных каналов одновременно улучшает теплопроводность смеси, поэтому является одним из способов снижения пригара. Газоотводные каналы должны быть размещены как можно ближе к полости формы (5–10 мм).

Наибольший пригар образуется в тепловых узлах отливки (рис. 14.24)

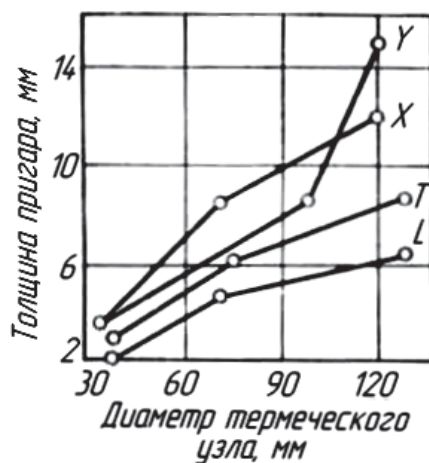
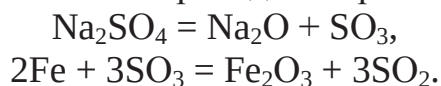


Рис. 14.24. Пригар в тепловых узлах различного сечения

Исследование образцов L, T, X и Y-образных сечений с толщиной стенки 30, 60 и 100 мм, изготовленных из стали 20ГСЛ, показало, что наибольший пригар получается на X- и Y-образных образца.

Получение легкоотделимого пригара на стальных отливках. С ростом окисления металла на границе металл–форма увеличивается слой оксидов металла и пригар становится легкоотделимым. Количество оксидов можно увеличить, если ввести в смесь добавки окислительного действия: оксиды железа или ванадия, хлориды металла и т. д. При использовании жидкостекольной смеси хорошие результаты дают добавки 0,1 % V_2O_5 и 0,3 % Na_2SO_4 . Окисление железа проходит по реакциям



В песчано-глинистые смеси, используемые для получения стальных отливок массой до 100 кг, следует вводить 2 % сульфата алюминия. Между металлом и $Al_2(SO_4)_3$ протекает реакция



Объем образующихся продуктов реакции в 2–2,3 раза больше объемов исходных материалов. Продукты реакции заполняют поры формы и препятствуют проникновению в них металла. Смесь, содержащая $Al_2(SO_4)_3$, быстро насыщается пылью, особенно в присутствии активированного бентонита, поэтому в нее следует добавлять декстрины. Типовой состав смеси, используемой для получения стальных отливок, включает 3,5 % бентонита, 1 % декстрина, 2 % $Al_2(SO_4)_3$, 3–3,5 % воды, а остальное – кварцевой песок.

Противопригарные краски окислительного действия содержат хлориды металла. В смесях с жидким стеклом применяют $MnCl_2$ и $CaCl_2$.

Добавление в смесь *высших оксидов железа* (магнетита Fe_3O_4 и гематита Fe_2O_3) улучшает поверхность чугуновых и стальных отливок. Оксиды оказывают комплексное действие:

- предотвращается проникновение жидкого металла в поры, особенно при использовании смесей с жидким стеклом и самотвердеющих смесей с синтетическими связующими;
- получается тонкий слой легкоотделимого химического пригара.
- повышается поверхностная прочность форм и стержней и их стойкость к эрозии;
- уменьшается число дефектов, связанных с расширением литейной формы при нагреве (наросты, приливы, ужимины);

– устраняется азотная пористость в отливках, изготавливаемых в формах или в стержнях, содержащих синтетические смолы, по нагреваемой или холодной оснастке;

– предотвращаются специфичные дефекты отливок, получаемых в оболочковых формах методом Кронинга («апельсиновая корка»).

Высшие оксиды железа применяют в пылевидном состоянии в количестве 2–6 % массы смеси. Их эффективность в большой мере зависит от примесей. Магнетит не вполне отвечает таким требованиям. Наилучшие результаты получаются от добавок гематита 96 % Fe_2O_3 , полученного химическим путем.

При заливке литейной формы высшие оксиды железа превращаются с выделением кислорода в устойчивый вюстит. В случае окислительной атмосферы вюстит FeO реагирует с SiO_2 формы, образуя фаялит $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$, который покрывает слоем толщиной 0,05–0,1 мм поверхность формы и заполняет поры формы. Положительное влияние пленки фаялита состоит в следующем:

- закупориваются поры формы;
- заполняются трещины, образующиеся в форме или в стержне во время их нагрева;
- уменьшается возможность проникновения газов из формы в жидкий металл.

При охлаждении отливки слой фаялита разрушается вследствие разного теплового расширения и легко отделяется от отливки.

Добавление оксидов железа увеличивает теплопроводность смеси и ускоряет затвердевание слоя металла. Это уменьшает пригар и предотвращает образование таких дефектов, как просечки.

НАПРЯЖЕНИЯ В ОТЛИВКАХ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Каждой температуре соответствует вполне определенный удельный объем данного сплава во всех агрегатных состояниях, в том числе и в твердом. С изменением температуры изменяется удельный объем сплава: сплав претерпевает тепловое расширение с тем или иным знаком. Свободное расширение сплава отличается от расширения отливки из этого сплава в форме, потому что при расширении отливки всегда возникает торможение, препятствующее расширению в большей или меньшей степени.

Если с изменением температуры какая-то часть отливки не может свободно расширяться, в ней возникают тем большие напряжения, чем сильнее торможение расширения – механическое, тепловое или оба одновременно. Когда численные значения растягивающих напряжений или напряжений на срез, выражаемых обычно в килограммах на 1 мм^2 превысят в какой-то части отливки прочность материала при данных температуре и скорости роста напряжений, материал разрушается. Чем медленней увеличиваются напряжения, вызывающие растяжение или срез, тем при большем напряжении разрушается отливка.

Нарушения сплошности материала отливки, возникающие при высоких температурах, называют горячими трещинами, а при комнатной или несколько более высоких температурах – холодными трещинами.

15.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИТЕЙНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Литейными называют напряжения, возникающие в процессе первичного охлаждения отливки в форме, т. е. после заливки. В отливке после полного охлаждения остаются так называемые тепловые остаточные напряжения. Эти напряжения могут быть значительно уменьшены, если отливки подвергнуть отжигу для снятия литейных напряжений.

С остаточными тепловыми напряжениями в отливке конструктор, как правило, не считается, потому что соответствующий

стандарт предписывает сдачу отливок, свободных от литейных напряжений. Поэтому конструктор назначает размеры литых машинных деталей, не принимая во внимание остаточные тепловые литейные напряжения. Размеры литой детали определяются допустимой нагрузкой. Если отливку не отжечь на снятие напряжений, остаточные напряжения могут вызвать разрушение литой детали в машине при много меньшей нагрузке, чем это соответствует пределу прочности материала. Остаточные литейные тепловые напряжения в отдельных частях отливки складываются с напряжениями от внешних сил по величине и направлению.

Растягивающие напряжения обозначают знаком (+), сжимающие знаком (–). В одной и той же отливке, усадка которой тормозилась только термически, растягивающие и сжимающие напряжения всегда таковы, что их алгебраическая сумма в любой момент во всех местах отливки равна нулю. Если к ним присоединяется сопротивление формы или стержня усадке, т. е. механическое торможение усадки, возникают еще так называемые усадочные напряжения, которые это равновесие нарушают, потому что алгебраически суммируются с остаточным тепловым напряжением и всегда будут растягивающими, т. е. со знаком плюс. Усадочные напряжения действуют лишь до тех пор, пока действует механическое сопротивление усадке. У извлеченной из формы отливки усадочные напряжения исчезают.

Если материал отливки при охлаждении претерпевает фазовые изменения, сопровождаемые изменением удельного объема, то в результате теплового или механического торможения объемных, а тем самым и линейных изменений возникают так называемые фазовые напряжения.

Напряжения возникают уже в элементарной ячейке кристаллической решетки сплава, когда межатомные расстояния в решетке не соответствуют равновесным расстояниям. Определенной температуре всегда отвечает определенное равновесное расстояние, при котором напряжения не возникают. Если межатомное расстояние меньше равновесного, возникают сжимающие напряжения (–), если больше – растягивающие (+). Напряжения, возникающие в объемах, соизмеримых с размером элементарной ячейки кристаллической решетки, называют напряжениями III рода, или субмикро-

скопическими; напряжения в пределах одного кристалла называют напряжениями II рода, или микроскопическими; напряжения в макрообъемах отливки – это напряжения I рода, или макроскопические (иначе, макронапряжения).

Напряжения I, II и III рода взаимно связаны между собой. Для отливок наибольшее значение имеют макронапряжения, о которых исключительно и будет идти речь дальше.

Термические напряжения определяются из обычного уравнения

$$\pm \sigma = \alpha E \Delta t, \quad (15.1)$$

где $\pm \sigma$ – растягивающее или сжимающее напряжение, Па;

– α – коэффициент теплового расширения, $1\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;

– E – модуль упругости, Па;

– Δt – разница температур в отливке, $^{\circ}\text{C}$.

Значения α и E присущи материалу отливки, и на них, по существу, влиять нельзя. Значение Δt зависит и от свойств сплава, повышаясь с уменьшением его теплопроводности и удельной теплоемкости, и от конструкции отливки и свойств формы. На два последних фактора можно в значительной степени оказывать влияние вмешательством извне.

15.2. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОТЛИВОК ПО НАПРЯЖЕНИЯМ

Конструкции отливок следует различать:

– по степени неизотермичности;

– по жесткости взаимной связи отдельных частей отливки.

Степень неизотермичности конструкции характеризуется отношением диаметров шаров, вписанных в разные места отливки. Чем больше это отношение отличается от единицы, тем выше степень неизотермичности конструкции. У простых массивных отливок степень неизотермичности прямо пропорциональна толщине.

Степень жесткости отливки зависит от того, возникают ли в отдельных частях охлаждаемой или нагреваемой отливки только осевые напряжения (растягивающие, сжимающие) или в некоторых частях, помимо того, имеются изгибающие напряжения. В первом случае конструкция называется жесткой, во втором – нежесткой (податливой). Между жесткой и нежесткой конструкциями суще-

ествуется целая градация конструкций с разными степенями податливости (рис. 15.1).

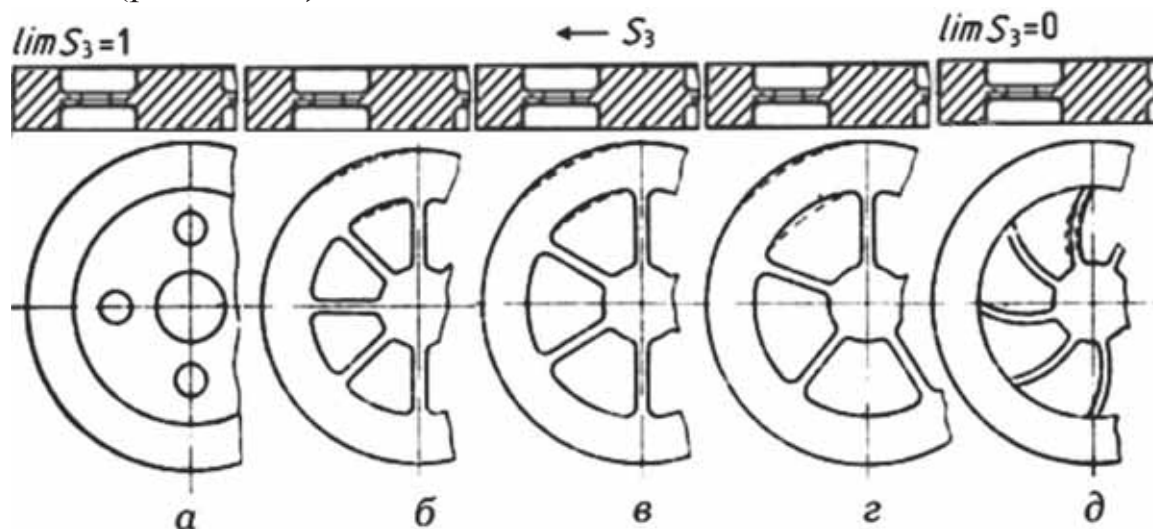


Рис. 15.1. Отливки неизотермичных зубчатых колес с разной степенью жесткости (жесткость снижается от а до д)

15.2.1 Влияние нежесткости конструкции на термические напряжения

Приведенное выше уравнение термических напряжений (15.1) действительно, в предположении:

- отливка может иметь только упругие деформации, следовательно, материал совершенно непластичен;
- разница температур между отдельными частями отливки не уменьшается из-за теплопроводности материала;
- отливка не может деформироваться.

В действительности в уравнение должны быть введены некоторые поправки, и оно примет следующий вид:

$$\pm\sigma = \alpha E S_1 S_2 S_3 \Delta t, \quad (15.2)$$

где S_1 – поправка на пластическую деформацию; S_2 – поправка на распределение тепла между отдельными частями; S_3 – поправка на нежесткость конструкции.

При этом не принимают во внимание усадочные напряжения, которые складываются с термическими. Величины S_1 , S_2 , S_3 меньше единицы. Первые две из них зависят от свойств материала отливки и от длины соединения стенок разной толщины, величина же S_3 зависит от степени податливости или жесткости конструкции.

Если конструкция жесткая, т. е. отдельные части отливки взаимно связаны так, что при неизотермическом охлаждении они испытывают нагрузку, растягивающую или сжимающую, но не изгибающую, то величина S_3 стремится к 1. В конструкции будут возникать наибольшие напряжения. Примером может служить отливка дискового колеса на рис. 15.1, а. Простые массивные отливки также имеют разную степень жесткости. Жесткую конструкцию в поперечном разрезе имеет цилиндр, который не жесток в продольном направлении; конструкция шара жестка во всех радиальных направлениях.

Если жесткая конструкция одновременно в большой мере неизотермична, т. е. если велики одновременно S_3 и Δt , в ней развиваются большие напряжения, которые могут превзойти прочность материала. Отливки склонны к нарушению сплошности, однако они не покоробятся.

Противоположность жесткой конструкции – высоко податливая конструкция. Она характеризуется таким взаимным соединением отдельных частей, что по крайней мере некоторые из них нагружены на изгиб. В этом случае величина S_3 , а с ней и $\pm\sigma$ стремятся к нулю (рис. 15.1, в). В отливке будут минимальные напряжения, однако некоторые части отливки покоробятся, как это показано пунктиром. Отливке не будет угрожать нарушение сплошности при любой степени неизотермичности Δt .

Величина S_3 может колебаться, таким образом, в интервале от 1 до 0. Поэтому различают конструкции с разной степенью нежесткости. На рис. 15.1 приведены различные неизотермичные конструкции колес с возрастающей степенью нежесткости, а следовательно, с уменьшающейся опасностью нарушений сплошности и с увеличивающейся деформацией. Если заранее представить себе эту деформацию, то можно так подобрать модель и технику формовки, чтобы отливка получилась годной для эксплуатации.

Массивные отливки тоже имеют разную степень нежесткости, хотя у них S_3 не стремится к нулю (рис. 15.2).

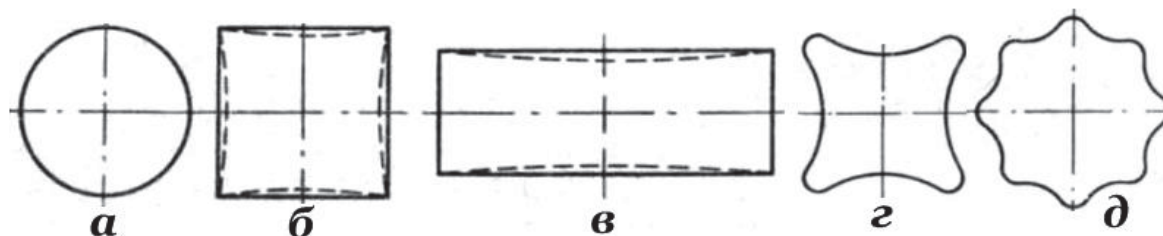


Рис. 15.2. Цельные профили с разной степенью жесткости:
а – наибольшая жесткость; б, в – средняя жесткость; г, д – малая жесткость

Квадратный профиль допускает некоторую деформацию (рис. 15.2, б), вследствие чего он больше противостоит нарушениям сплошности, чем круговой профиль (рис. 15.2, а). Еще менее жесткий по сравнению с квадратным прямоугольный профиль (рис. 15.2, в). Значительно меньшей жесткостью отличаются профили кресто- или звездообразный (рис. 15.2, г и д).

15.3. ГОРЯЧИЕ ТРЕЩИНЫ В ОТЛИВКАХ

Горячие трещины в отливках возникают под действием усадочных и термических напряжений и представляют нарушения сплошности, образовавшиеся при высокой температуре. Как правило, они возникают еще до окончательного затвердевания отливки, постепенно расширяются и удлиняются вплоть до температур ниже солидуса. На рис. 15.3 показаны температурные интервалы образования горячих трещин. Трещины, проходя по границам первичных зерен, бывают извилистыми и иногда имеют сильно окисленную поверхность, если к ним имелся доступ воздуха или окислительных газов.

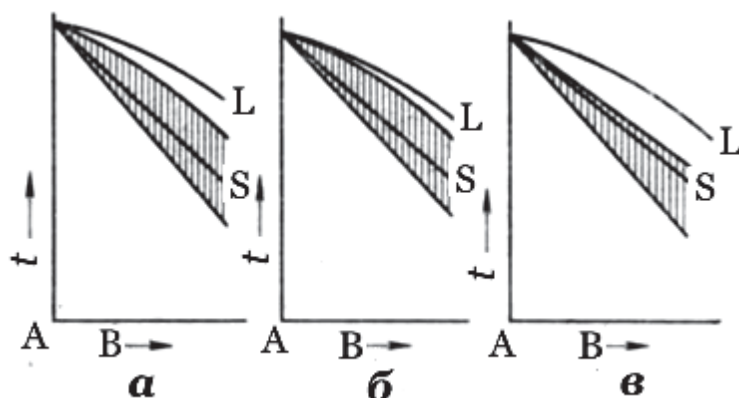


Рис. 15.3. Температурный интервал образования горячих трещин: а — в обычных отливках; б — в острых внутренних переходах; в — в отливках без термических узлов. L — ликвидус; S — солидус

Горячая трещина образуется, когда растягивающие или сдвигающие напряжения превышают прочность материала в данном температурном интервале. Критическое напряжение создается от усадочного или термического напряжения, либо от того и другого одновременно.

1. Горячие трещины, возникающие только от усадочных напряжений, могут образоваться лишь в изотермичной конструкции с механическим торможением усадки.

Горячая трещина представляет систему отдельных мелких трещин, перпендикулярных действующей силе усадки. Опасность растрескивания тем больше, чем выше коэффициент линейной усадки α после окончательного затвердевания, чем более форма отливки приближается к цилиндру и чем меньше отношение толщины к диаметру s/D , т. е. когда отливка быстро охлаждается и поэтому быстрее подвергается усадке. С этими так называемыми силовыми трещинами (рис. 15.4) можно бороться, увеличивая отношение s/D или заблаговременно ослабляя стержень. Первое решение связано с изменением конструкции: с увеличением s стержень нагревается сильнее, становясь менее жестким, и медленнее растет напряжение. Второе решение наиболее радикально, потому что в этом случае устраняется причина образования горячих трещин – усадочные напряжения.

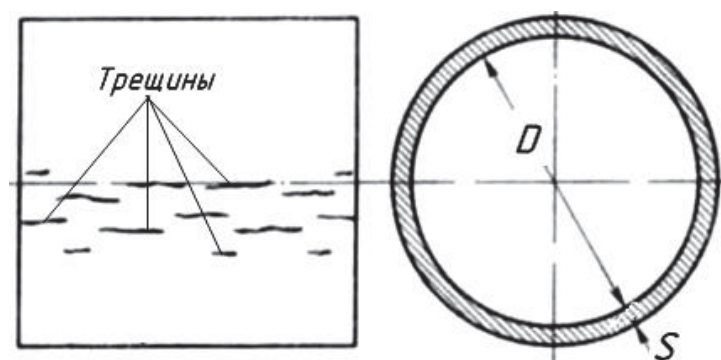


Рис. 15.4. Силовая горячая трещина в отливке изотермичного полого цилиндра

Можно также придать отливке жесткость, размещая ребра в плоскости действия силы, усадки (рис. 15.5).

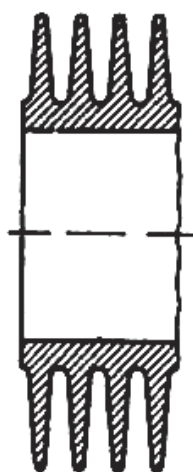


Рис. 15.5. Ребра, предназначенные для устранения силовых горячих трещин

2. Горячие трещины только от термических напряжений – специфические дефекты массивных отливок жесткой или умеренно податливой конструкции иногда и без механического торможения усадки. В результате различного хода усадки поверхностных и внутренних частей отливки образуются так называемые зональные горячие трещины. С зональными горячими трещинами можно эффективно бороться, уменьшая разницу температур Δt , заливая металл в более медленно остывающие формы, например в нагретые, либо надлежащим образом захлаживая отливку изнутри.

3. Горячие трещины от термических и усадочных напряжений появляются в переходах и сопряжениях стенок. В отливке стального маховика (рис. 15.6) термическое напряжение преобладало над усадочным.



Рис. 15.6. Отливка – неизотермичный жесткий стальной маховик. Пунктиром показана улучшенная конструкция.

Диск, быстрее охлаждается и быстрее подвергается усадке, отрывается от медленнее захлаживающегося и, следовательно, медленнее подвергающегося усадке венца. Здесь подходящей мерой может быть образование плавного перехода, при котором усадка распространяется на большее пространство, или ускоренное охлаждение венца, например, путем внутреннего захлаживания и т. п., т. е. уменьшение разницы температур венца и диска. Меньшее значение имеет податливость формы. Массивные части лучше захлаживать изнутри, чем снаружи, чтобы в них самих не увеличивалась разница температур.

Сюда же относятся и горячие трещины в переходах с разным закруглением (рис. 15.7). Чем меньше закруглен переход, тем меньшее напряжение достаточно для образования горячих трещин: в остром переходе дольше сохраняется у поверхности непрочный (жидкий) сплав.

Предупредить горячие трещины в переходах можно, или увеличивая радиус закругления, или размещая ребра в плоскости дей-

ствия сил усадки, а иногда специальным захолаживанием. Имеет значение и одновременное уменьшение жесткости стержня или соответствующей части формы.

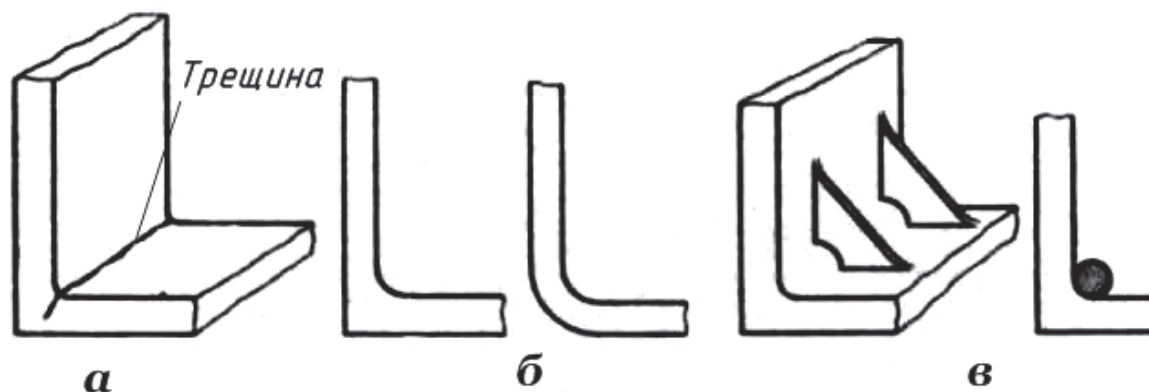


Рис. 15.7. L-образные сопряжения стенок: а – горячая трещина в остром переходе; б – переходы с закруглениями различных радиусов; в – обезвреживание относительно острого перехода ребрами жесткости (слева) и наружным захолаживанием (справа).

Считают, что основные мероприятия по уменьшению числа трещин связаны с созданием податливой формы. Такую форму можно создать за счет снижения прочности формовочных смесей или уменьшения их толщин по поверхности модели.

Податливость формовочных смесей достигают и добавлением в них древесных опилок.

Выбивка отливок из опок сразу же после их затвердевания, а также разрыхления формовочной смеси в тех местах формы, в которых есть опасность возникновения затрудненного сжатия, способствуют уменьшению вероятности образования трещин.

Наличие полых пространств в литейной форме, которые облегчают сжатие отливки, может также влиять на уменьшение числа трещин.

Конструкция отливки существенно влияет на образование трещин. При равномерной толщине стенок отливки вероятность появления трещин минимальна. Если между стенками нет плавных сопряжений (имеются резкие переходы), то в этих местах трещины обязательно возникнут.

При изготовлении отливок ответственного назначения, работающих под давлением, следует использовать конструкции с плавными переходами сечений. На верхней конструкции в местах 1 и 2 возникают трещины (рис. 15.8, а), на нижней с плавными переходами сечений (рис. 15.8, б) дефектов нет.

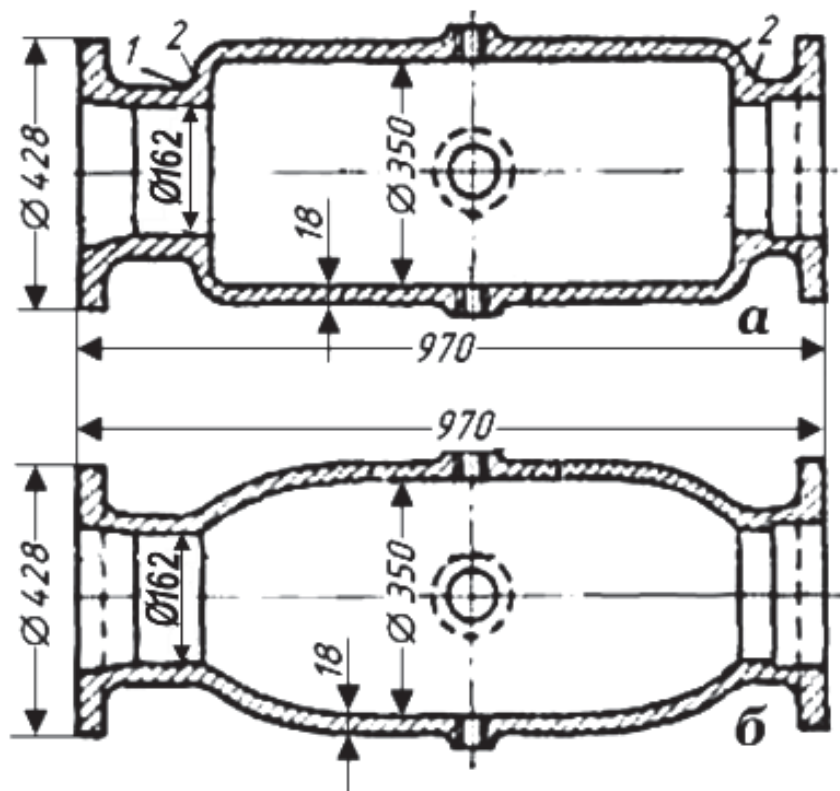


Рис. 15.8. Неправильная (а) и правильная (б) конструкции с плавными переходами: 1 и 2 – места, опасные для образования трещин

Конструкция литниковой системы также влияет на склонность стальных отливок к образованию трещин. Для равномерного заполнения формы на практике часто используют сложные литниковые системы, которые при кристаллизации тормозят нормальную усадку отливки.

Большие прибыли конусообразной формы снаружи независимо от того, что они хорошо питают отливку, могут при последующем затвердевании стать причиной образования поперечных трещин из-за затруднений усадки в вертикальном направлении. Поэтому в практике иногда используют прибыли, форма и размеры которых не обеспечивают лучший вариант питания отливки, но зато не вызывают в ней трещин.

Одним из существенных факторов, влияющих на склонность сталей к образованию горячих трещин, является технология плавки, температура заливки форм, получение минимального содержания вредных примесей S, P, а также газов H_2 , N_2 и O_2 в стали. Небольшие добавки титана, циркония, церия и бария оказывают большое влияние на свойства стали, в частности на ее стойкость к образованию трещин (рис. 15.9). Наибольшего повышения стойкости достигают добавкой 0,10–0,15 % Се. Добавка 0,05 % Ва оказывает аналогичное влияние. Добавка 0,15 % Ti и 0,10 % Zr также повышает стойкость сталей к образованию трещин.

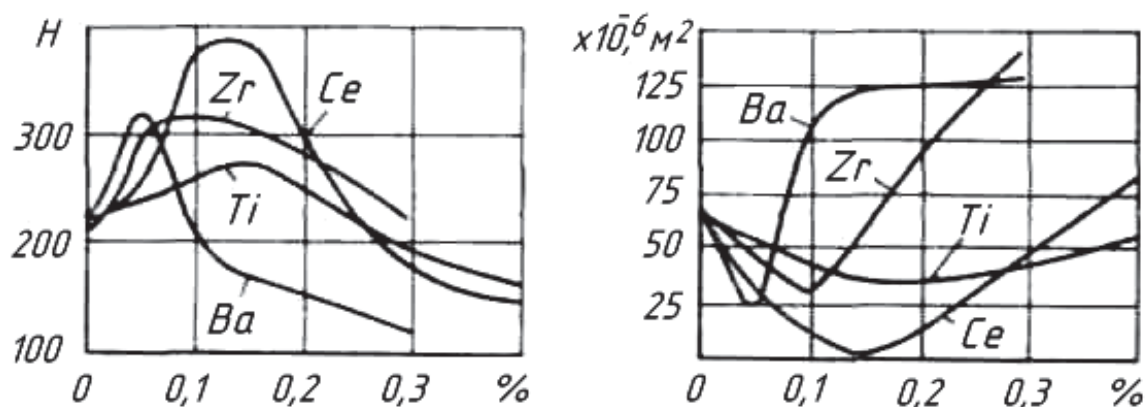


Рис. 15.9. Влияние различных добавок на склонность стали к образованию трещин (а) и на суммарную поверхность трещин (б)

15.4. ХОЛОДНЫЕ ТРЕЩИНЫ И ДЕФОРМАЦИИ В ОТЛИВКАХ

Холодные трещины – это нарушения сплошности, располагающиеся по кривым и возникающие чаще всего при комнатной или несколько более высокой температуре. Они имеют чистую кристаллическую поверхность, если возникли при комнатной температуре, или окрашены теми или иными цветами побежалости в зависимости от температуры, при которой возникли. Холодная трещина появляется от удара, иногда и от звукового эффекта.

Холодная трещина образуется, когда растягивающее или сдвигающее напряжение превышает предел прочности материала при данной температуре. Понятно, что еще перед растрескиванием материал теряет пластичность, величина которой зависит также от скорости увеличения сил усадки. При их быстром увеличении пластичность мала, поэтому отливка быстрее даст трещину. Возрастание сил усадки зависит от скорости охлаждения отливки и ее частей.

15.4.1. Механизм литейных напряжений

У остывшей отливки имеются остаточные термические напряжения. Эти напряжения появляются только по той причине, что после затвердевания охлаждающаяся отливка находится, прежде всего, в той температурной зоне, в которой пластические деформации преобладают над упругими (так называемая температурная область пластических деформаций). В этой зоне напряжения практически не возникают. При продолжающемся охлаждении отливка входит в область более низких температур, в которой упругие де-

формации преобладают над пластическими (область упругих деформаций).

Температурный интервал между областями пластических и упругих деформаций (рис. 15.10) может быть разной ширины. У углеродистых сталей для фасонного литья он лежит между 620 и 650 °С, у чугуна – между 400 и 650 °С. В дальнейшем возникновение напряжений будет разбираться в предположении, что этот критический температурный интервал $\Delta t_{кр}$ равен нулю и что интервалом между областями служит однозначная критическая температура $t_{кр}$.

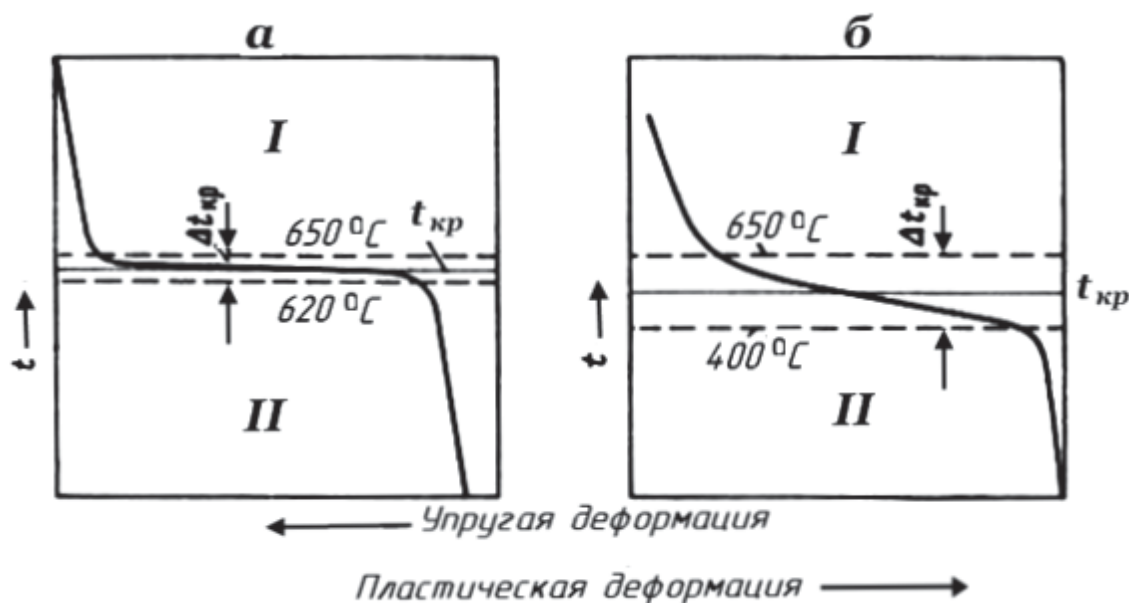


Рис. 15.10. Области пластических и упругих свойств и границы этих областей у мягкой стали (а) и у серого чугуна (б): I – область пластических деформаций; II – область упругих деформаций.

15.4.1.1. Остаточные термические напряжения

Механизм образования остаточных термических напряжений будет рассмотрен на примере отливки кольца с толстым фланцем и тонкой стойкой (рис. 15.11, б). Это кольцо жесткое, может покоробиться. На верхней диаграмме (рис. 15.11, г) представлен ход охлаждения стойки (кривая 1) и фланца (кривая 2) и показана границная $t_{кр}$ между областями пластических и упругих деформаций. Во время охлаждения стойка и фланец стремятся свободно сокращаться, как это видно из кривых хода свободной усадки 1 и 2 на нижней диаграмме (рис 15.11, д).

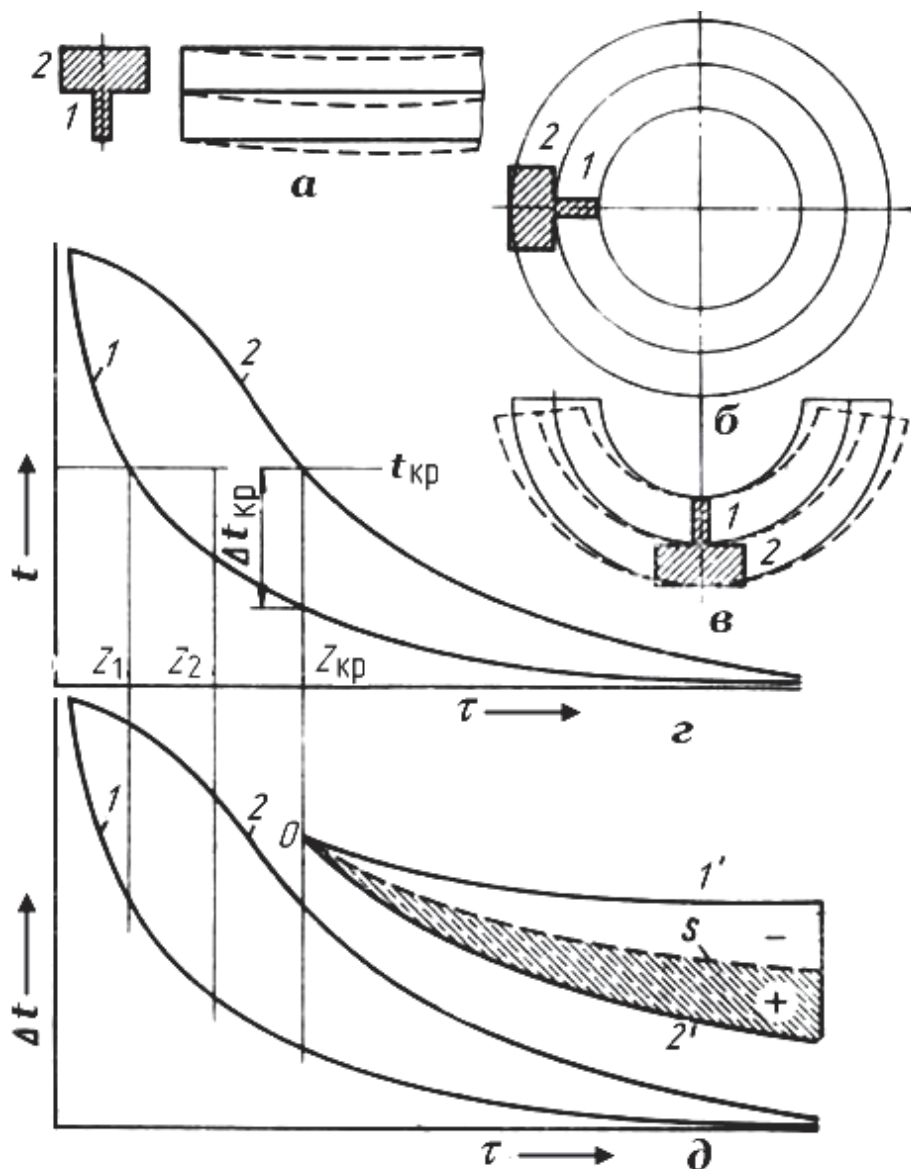


Рис. 15.11. Механизм образования остаточных термических напряжений: а — неизотермичная нежесткая планка; б — кольцо из той же планки (жесткое); в — планка, свернутая в дугу (нежесткая); г — ход изменения температуры стойки 1 и фланца 2 (толстой части); д — изменение свободной линейной усадки обеих частей во времени.

До момента Z_1 обе части кольца находятся в области пластических деформаций, вследствие чего напряжения не возникают. Между моментами Z_1 и $Z_{кр}$, например в момент Z_2 , стойка находится в области упругих деформаций, фланец же — в области пластических, но даже и сейчас не образуется напряжений вследствие

податливости фланца, находящегося в области пластической деформации.

Только с момента $Z_{кр}$ обе части попадают в область упругих деформаций, причем с этого момента стойка подвергается свободной усадке по кривой 1', а фланец – по кривой 2' на нижней части диаграммы. Кривые 1' и 2' исходят из общей точки при $Z_{кр}$, когда напряжение равно нулю. Поскольку обе части упруги и в то же время составляют одно целое, они не могут свободно сокращаться, их усадка термически тормозится их взаимодействием. Кольцо как одно целое подвергается усадке по пунктирной кривой S, располагающейся между кривыми 1' и 2'.

Из сравнения хода кривых S, Г и 2' следует, что заторможенная усадка фланца меньше свободной усадки, которую он имел бы в отсутствие стойки. Наоборот, заторможенная усадка стойки больше свободной. В результате этого после охлаждения во фланце остаются растягивающие напряжения (+), в стойке же – сжимающие (–). Это и есть остаточные термические напряжения.

Величина остаточного термического напряжения с течением времени, т. е. при дальнейшем охлаждении, повышается. В любой момент после $Z_{кр}$ величина напряжения пропорциональна расстоянию по вертикали точек кривых 1' и 2' от точек кривой S. Поскольку с течением времени это расстояние увеличивается, растет и напряжение, которое достигает наибольшей величины при полном охлаждении.

Результирующая величина остаточного термического напряжения находится в прямой зависимости от величины $\Delta t_{кр}$. При этом в более толстой части отливки, т. е. в той части, которая сначала остывает медленней, а потом – быстрее, чем тонкая часть образуются растягивающие напряжения (+), тогда как в тонкой части, которая сначала остывает быстрее, а потом медленней толстой, — сжимающие напряжения (–). Это справедливо обычно для остаточных термических напряжений.

Скорость охлаждения дается касательной к кривой охлаждения в данный момент. В определенный критический момент $Z_{кр}$ скорость охлаждения обеих частей отливки почти одинакова. В этот момент касательные к обеим кривым параллельны (рис. 15.12, в), а разница температур между обеими частями наибольшая. До момента $Z_{макс}$ быстрее остывает тонкая часть, которая быстрее подвергается усадке, после же $Z_{макс}$ быстрее остывает и быстрее подвергается усадке более толстая часть (рис. 15.12, б и в).

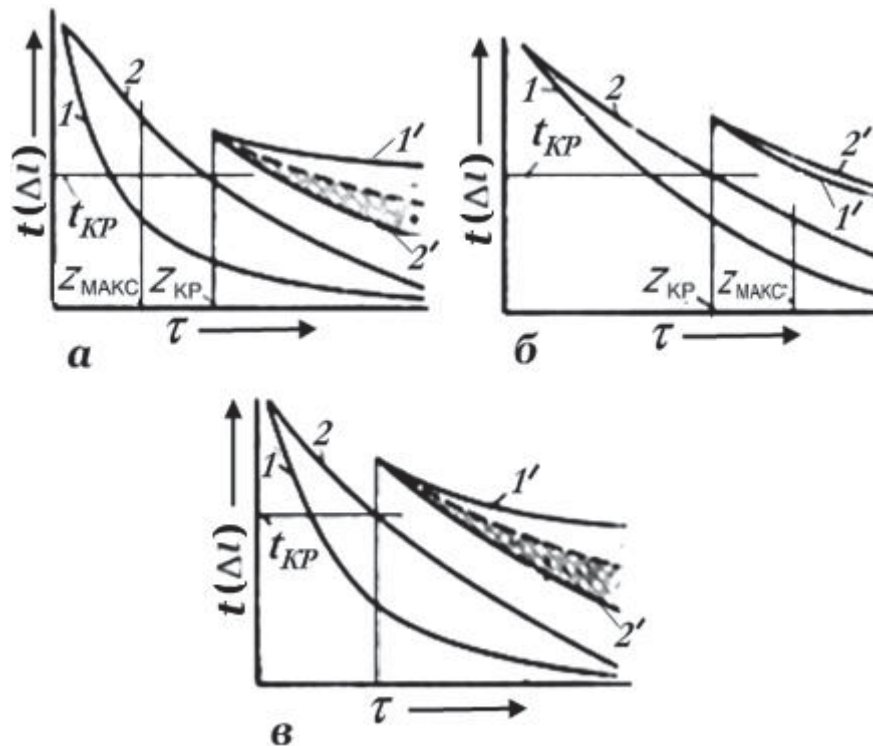


Рис. 15.12. Возможные соотношения между Z_{KP} и Z_{MAXC} : а – $Z_{KP} > Z_{MAXC}$; б – $Z_{KP} < Z_{MAXC}$; в – $Z_{KP} = Z_{MAXC}$; 1 – данные для стойки; 2 – данные для фланца.

Когда в особом случае $Z_{MAXC} = Z_{KP}$, остаточные напряжения достигают наибольшей величины в данных условиях (рис. 15.12, в).

Растягивающие и сжимающие остаточные напряжения в отливке зависят от величины сечения, в котором они распределяются. Если растягивающее напряжение во фланце обозначить σ_2 , а сжимающее в стойке σ_1 то можно написать

$$\sigma_1 F_1 = \sigma_2 F_2, \text{ или } \sigma_1 : \sigma_2 = F_2 : F_1, \quad (15.3)$$

где F_1 и F_2 – площади поперечных разрезов стойки и фланца.

Если в данном случае $F_2 > F_1$ то $\sigma_1 > \sigma_2$, то сжимающие напряжения в стойке больше, чем растягивающие во фланце (рис. 15.13). Линия 0 представляет так называемую нулевую изотензу (линия равных напряжений), в пересечении которой с кривой распределения напряжений напряжение равно нулю. Это своего рода нейтральная ось литейных напряжений.

Если одновременно в результате механического сопротивления усадке создаются усадочные напряжения, то кривая суммы термического и усадочного напряжений не будет соответствовать приведенному выше уравнению, но сдвинется в направлении растягивающего напряжения (пунктир на рис. 15.13).

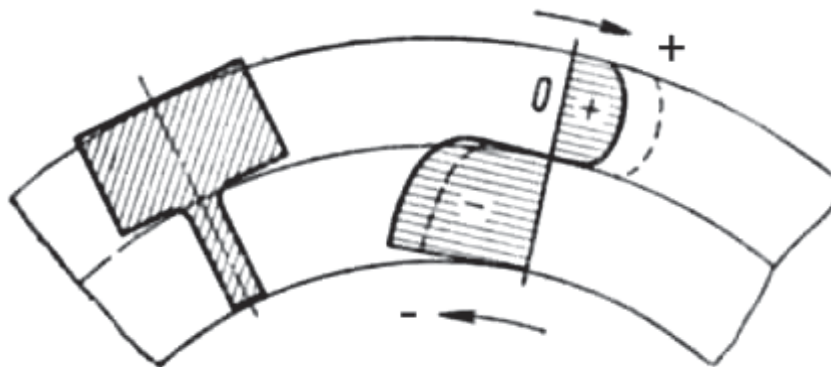


Рис. 15.13. Распределение остаточных напряжений в толстом фланце и тонкой стойке у кольцевой отливки. Пунктирной линией показаны остаточные напряжения вместе с временными усадочными напряжениями.

До сих пор предполагалось, что выбранная отливка планки не может деформироваться, и приведенное выше уравнение годится для определения величины остаточного термического напряжения. Если отливка жесткой конструкции не защищена против деформации, поправка на нежесткость S_3 для нее приближается к нулю, к нулю же будет приближаться и величина $\pm \sigma$, вследствие чего отливка покоробится в соответствии с существующей разницей температур в обеих частях во время охлаждения (пунктирные линии на рис. 15.11, а, в). Если отливка нежесткая, т.е. $S_3 < 1$, например, или если $S_3 \rightarrow 0$, она покоробится и в ней останется минимальное напряжение, величина которого обратно пропорциональна степени податливости.

Из обычного уравнения для термических напряжений следует, что величина их не зависит от размера отливки. Это справедливо лишь в том случае, если величина $S_3 < 1$. Если же $S_3 = 1$, т.е. конструкция абсолютно жесткая, то размер отливки будет влиять на величину напряжений и на склонность к растрескиванию.

Если отливка дает холодные трещины из-за остаточного термического напряжения, то это происходит или незадолго до конца ее остывания, или после полного охлаждения, когда величина растягивающего напряжения превысит прочность материала при данной температуре и данной скорости роста напряжения. Отливка дает трещину в толстой части, и свежая трещина будет иметь чистый кристаллический излом. Образуется она тем скорее, чем ниже степень нежесткости конструкции. В податливой отливке не возникает трещины, но отливка покоробится. Поэтому часто выби-

рают нежесткую конструкцию как эффективное средство против растрескивания неизотермичной отливки. Конечно, при этом стараются иметь такую деформацию, чтобы она не препятствовала эксплуатации отливки.

Из отливки планки на рис. 15.11 можно было бы сделать жесткую конструкцию, добавив стойку симметрично имеющейся. В такой отливке и остаточные напряжения распределяются симметрично (рис. 15.14).

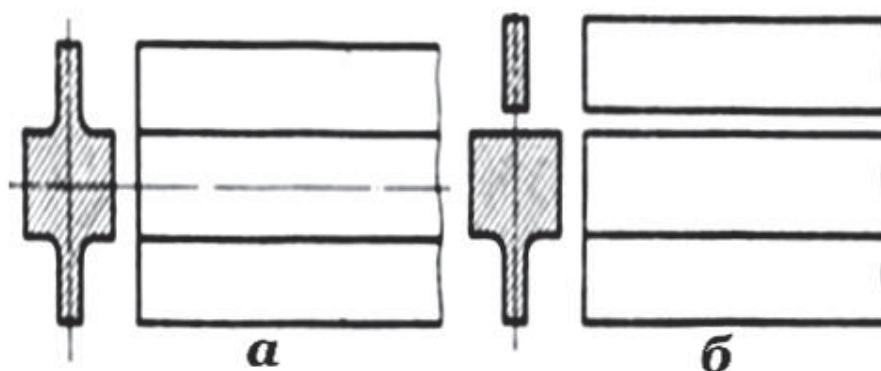


Рис. 15.14. Планки жесткой конструкции (а) и нежесткой после снятия одной стойки (б)

В этом случае $S_3 = 1$, величина остаточных термических напряжений максимальна, отливка же не коробится. Если отнять у отливки одну добавочную стойку, получится несимметричная фигура с несимметрично распределенными напряжениями; в этом случае $S_3 < 1$ и отливка покоробится.

Это явление привело в литейной практике к тому, что отливки, применяемые в неотожженном состоянии, как правило, чугуновые, частично обдирают с поверхности и оставляют вылеживаться некоторое время. При этом они коробятся, но освобождаются от напряжений. Только после этого они отправляются на окончательную обработку и сборку. Если бы чугуновые отливки шли на обработку и сборку тотчас же по изготовлению, они коробились бы впоследствии, будучи уже деталями машин. При недостатке времени на вылеживание чугуновые отливки следует отжигать для снятия напряжений.

Свернув в кольцо неизотермичную нежесткую планку, снова получим жесткую конструкцию (рис. 15.11, б). Если бы кольцо после остывания разрезать, оно деформировалось бы, как показано пунктиром на рис. 15.15, что привело бы к снижению внутренних напряжений до ничтожной величины. Полукольцо тоже представляет нежесткую конструкцию (рис. 15.11, в).

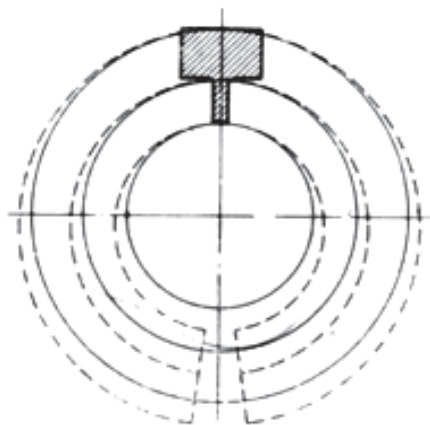


Рис. 15.15. Изменение жесткой конструкции на нежесткую после разрезки кольцевой отливки.

15.4.1.2. Временные термические напряжения

Если остывшую отливку, свободную от напряжений, нагреть только внутри области упругих деформаций, в ней создадутся разница температур и, следовательно, термические напряжения. Величина напряжений в данный момент пропорциональна расстоянию по вертикали точек обеих кривых нагрева 1 и 2 (рис. 15.16).

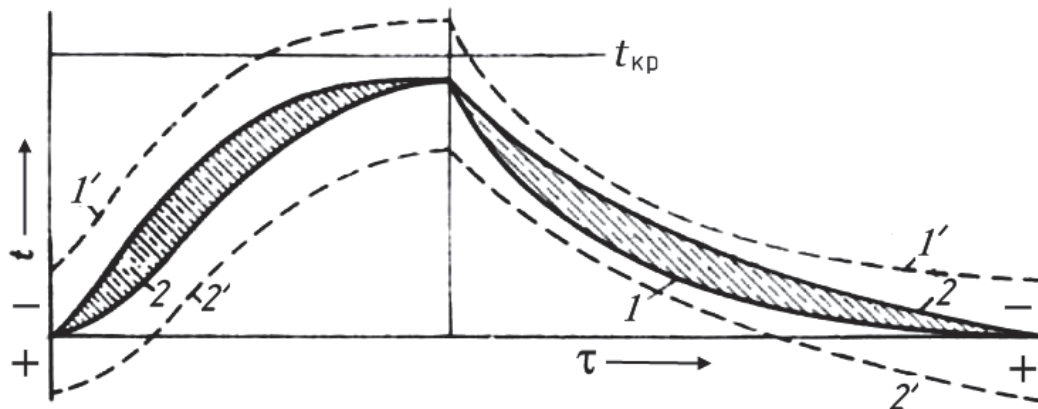


Рис. 15.16. Нагрев и охлаждение неизотермичной жесткой отливки только в области упругих деформаций.

Величину этого мгновенного напряжения можно определить также из уравнения (15.2). Тонкая часть нагревается быстрее, чем толстая, вследствие чего в тонкой возникнут сжимающие, а в толстой — растягивающие напряжения. После окончательного выравнивания температур, еще внутри области упругих деформаций, напряжение становится равным нулю.

При дальнейшем охлаждении отливки вновь создается разница температур, а в связи с этим появляются и напряжения. В тонкой части будут растягивающие, в толстой – сжимающие напряжения. После окончательного охлаждения, т. е. при $\Delta t = 0$, напряжения исчезают. Таким образом, нагревание и охлаждение отливки только внутри области упругих деформаций вызывают лишь временные термические напряжения, которые исчезают, когда устраняется разница температур.

Если в отливке уже имеются остаточные напряжения, то при изменении ее температуры только внутри области упругих деформаций (рис. 15.16) остаточные напряжения останутся без изменения и к ним добавится изменяющаяся во времени величина временного термического напряжения. При $\Delta t = 0$ существуют только первоначальные остаточные напряжения.

15.4.1.3. Фазовые напряжения

Все изложенное справедливо для случаев, когда сплав не претерпевает в твердом состоянии изменения аллотропической формы (модификации), сопровождаемого изменением удельного объема. Это действительно для многих цветных сплавов, из железных же сплавов – только для чисто ферритных и аустенитных.

В большей части железных сплавов при охлаждении происходит превращение модификации γ в модификацию α , имеющую больший удельный объем. При закалке на мартенсит также образуется структура с большим удельным объемом, чем у исходной. Чугуно- и сталелитейщика особенно интересует превращение $\gamma \rightarrow \alpha$, протекающее и при первичном охлаждении отливки, т. е. в форме, и при термической обработке. Напряжения, возникающие в процессе первичного охлаждения отливки, называются литейными.

Превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ в значительной мере влияет на напряжения, когда оно происходит в области упругих деформаций.

Ниже $t_{кр}$ напряжения, возникающие в результате превращения $\gamma \rightarrow \alpha$, проявляются только одновременно с термическими напряжениями. Поэтому нельзя определить величину напряжений, вызываемых лишь фазовым превращением $\gamma \rightarrow \alpha$.

На рис. 15.17, в опять показан ход охлаждения отливки кольца с толстым фланцем 2 и тонкой стойкой 1.

На этот раз кольцо претерпевает превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ в области упругих деформаций. Кривые 1 и 2 имеют остановку при темпера-

туре превращения. Нижняя часть диаграммы характеризует ход свободной усадки стойки (кривая 1) и фланца (кривая 2). В момент $Z_{\text{кр}}$ начинают возникать остаточные термические напряжения. Когда величина остаточного термического напряжения равна нулю, стойка стремится подвергаться свободной усадке по кривой 1' (сдвинутая соответствующая часть кривой 1), а фланец – по кривой 2' (сдвинутая соответствующая часть кривой 2). Стойка и фланец, однако, образуют одно целое и поэтому не могут претерпевать свободную усадку, а взаимно влияют на усадку друг друга. Если отливка не может деформироваться, то она претерпевает усадку как одно целое по некоторой средней кривой S, показанной пунктиром на рис. 15.17, з.

Если же превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ в стойке уже закончилось, когда фланец попадает в область упругих деформаций, то через некоторое время после $Z_{\text{кр}}$ во фланце начнется превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ (момент $Z_{\text{прев}}$). Фланец стремится растянуться, стойка же не претерпевает усадки: в толстом фланце сжимающие, а в тонкой стойке растягивающие напряжения повышаются до максимума (момент $Z_{\text{макс}}$). Эти фазовые напряжения затем снижаются до момента $Z_{\text{прев}}$, когда полностью ликвидируются все напряжения, т. е. $\pm \sigma = 0$. Лишь начиная с момента $Z_{\text{прев}}$ и до полного охлаждения отливки развиваются одни остаточные напряжения.

Из схемы на рис. 15.17 видно, что по сравнению с механизмом возникновения простых термических напряжений без превращений наличие фазовых превращений внесло следующие изменения:

- развитие термических напряжений было искажено в результате возникновения фазовых напряжений, связанных с превращением $\gamma \rightarrow \alpha$ а, так что термические остаточные напряжения возникли значительно позже, чем в момент $Z_{\text{кр}}$, а именно в $Z_{\text{прев}}$;

- когда фазовое превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ происходило в толстой части, в обеих частях отливки развились фазовые напряжения обратного знака по сравнению с остаточными термическими напряжениями, а именно в тонкой части со знаком плюс, а в толстой со знаком минус;

- когда в толстой части отливки фазовое превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ закончилось, фазовые напряжения упали до 0 в момент $Z_{\text{прев}}$;

- поскольку фазовые напряжения, обусловленные превращением $\gamma \rightarrow \alpha$, имеют знак, противоположный остаточным термическим напряжениям, они приводят к некоторому снижению результирующего остаточного напряжения по сравнению со случаем, когда превращения не происходит.

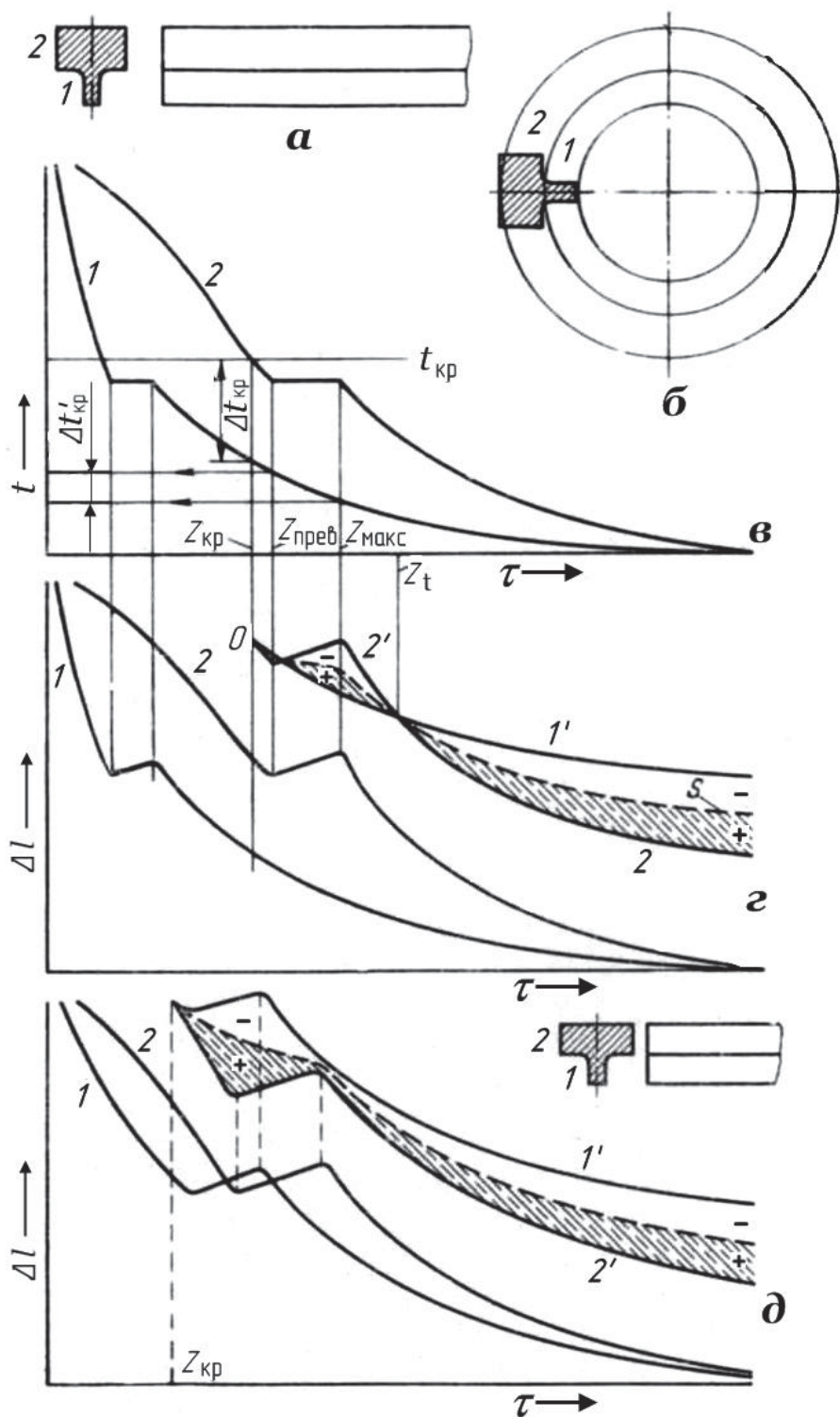


Рис. 15.17. Механизм образования термических напряжений в сочетании с фазовыми: а — неизотермичная нежесткая планка; б — неизотермичное жесткое кольцо; в — ход охлаждения стойки 1 и фланца 2; г — ход свободной усадки стойки и фланца; д — ход свободной усадки у отливки с меньшей степенью неизотермичности, чем в случаях а и б

Если растягивающие фазовые напряжения, обусловленные превращением $\gamma \rightarrow \alpha$ в период $Z_{\text{кр}} - Z_{\text{макс}}$, превзойдут предел прочности материала при данной скорости роста напряжения, отливка даст трещину в соответствующем месте – в тонкой части при температуре внутри $\Delta t'_{\text{кр}}$ (рис. 15.17, в). Поскольку эта температура обычно выше комнатной, поверхность трещины окрасится цветом побежалости. Когда прекратится прямое влияние фазового превращения и проявят себя только остаточные термические напряжения, трещина, возникшая под действием фазового напряжения, сожмется, потому что затем возрастут остаточные сжимающие напряжения в треснувшей перед тем стойке.

Если фазовое превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ протекает в обеих частях отливки и после $Z_{\text{кр}}$ получается аналогичная схема кинетики напряжений (рис. 15.17, д). Конечная величина термического напряжения и здесь относительно снижена под действием фазового напряжения.

Из всего сказанного следует, что в отливке жесткой неизотермичной конструкции может возникнуть окрашенная цветами побежалости трещина обоих типов (рис. 15.3, а). Трещина образуется сначала при более высокой температуре в тонкой части под действием напряжения, обусловленного фазовым превращением $\gamma \rightarrow \alpha$. Когда закончится охлаждение отливки, в ее толстой части под действием остаточного термического напряжения может образоваться трещина; эта трещина будет чистой.

Если неизотермичная отливка имеет нежесткую конструкцию, то и фазовые напряжения в ней минимальные, вследствие чего отливка покоробится незначительно. Неизотермичная планка на рис 15.17 в период $Z_{\text{прев}} - Z_{\text{макс}}$ прогибается в толстой части дугой наружу, в период $Z_{\text{макс}} - Z_t$ она выравнивается, так что в момент Z_t планка уже ровная, а после Z_t она прогибается толстой частью дугой внутрь. Окончательная деформация планки, конечно, меньше, чем, если бы планка не претерпевала превращения $\gamma \rightarrow \alpha$.

Чем больше расширение в результате превращения $\gamma \rightarrow \alpha$, чем больше время между превращением тонкой и толстой частей и чем более жестка и неизотермична конструкция отливки, тем выше фазовые напряжения и тем скорее отливка даст трещину. Фазовые напряжения могут быть вызваны также и мартенситным превращением при закалке, когда при температуре около 200 °С резко увеличивается удельный объем. Если эти превращения протекают в отливке неодновременно, они скорее могут вызвать растрескивание, потому что мартенситная структура не обладает пластически-

ми свойствами. Однако эти проблемы составляют, скорее, предмет термической обработки стали, поэтому в настоящей книге подробностей не приводится.

Графитизация серого чугуна и чугуна с шаровидным графитом тоже протекает с увеличением удельного объема. Хотя это увеличение и не бывает таким резким, как при рассмотренных выше превращениях, оно служит причиной нарушений сплошности, особенно у отливок жесткой конструкции с отбеленной поверхностью, как, например, у прокатных валков. Эти нарушения образуются и в области пластических деформаций, и им способствует расширение внутренней части валка под влиянием графитизации при одновременной усадке отбеленной поверхности. На поверхности образуются продольные нарушения сплошности с окисленной поверхностью. Эти нарушения можно рассматривать как нечто среднее между горячими и холодными трещинами.

15.4.2. Влияние размеров и формы отливки на величину напряжений

Опыт показывает, что разной величины неизотермичные отливки жесткой конструкции, схожие по форме и изготовленные из одного и того же сплава в одинаковых условиях, имеют различную склонность к трещинам всех видов, если размеры отливки превышают критические для данных условий. Причина кроется в том, что у жесткой конструкции отсутствуют изгибающие нагрузки. Здесь все зависит от абсолютной усадки отдельных частей отливки, несомненно большей у более крупных отливок, в связи с чем материал теряет пластичность.

Влияние фактора размера отливки на напряжение проявляется, например, у неизотермичных жестких колец, неизотермичных дисковых зубчатых колес, прокатных валов и т. п.

15.4.3. Напряжения при термической обработке отливок

Все описанные выше процессы обратимы: если во время охлаждения отливка претерпевала усадку, а у железных сплавов еще происходило и расширение, вызванное превращением $\gamma \rightarrow \alpha$, то при нагреве отливка расширится, а иногда произойдет также и временная усадка в связи с процессом фазового превращения $\alpha \rightarrow \gamma$, как показано на рис. 15.18. При нагреве отливки, не имевшей внутренних литейных напряжений, в области упругих деформаций образуются временные термические

напряжения – в тонкой части со знаком минус, в толстой со знаком (+) (рис. 15.18). В момент $Z_{кр}$ напряжения ликвидируются.

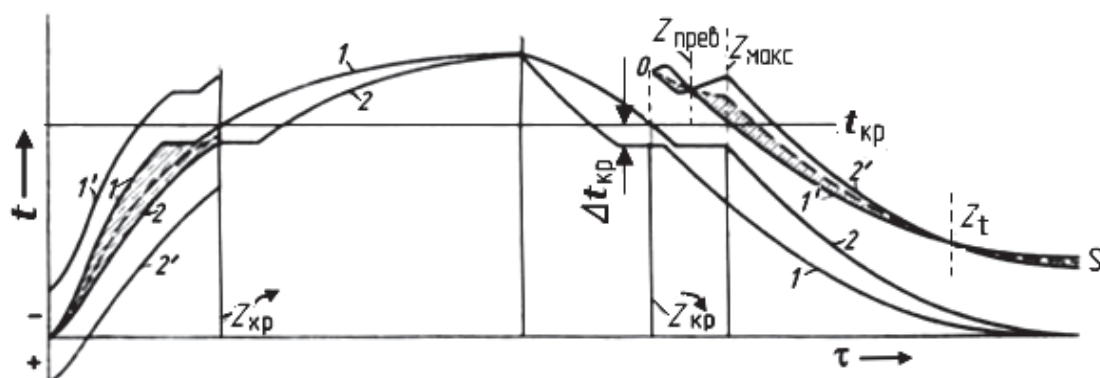


Рис. 15.18. Нагрев отливки неизотермичной конструкции до области преимущественно пластических деформаций с последующим охлаждением

Отливка затем не имеет внутренних напряжений вплоть до своего прогрева в области пластических деформаций.

Когда затем отливка остывает, в ней развиваются термические напряжения, к которым у железных сплавов прибавляются фазовые вследствие превращения $\gamma \rightarrow \alpha$, следуя описанному выше механизму. Конечная величина напряжений опять пропорциональна величине $\Delta t_{кр}$ (момент $Z_{кр}$), уменьшенной с учетом соответствующей доли влияния превращения $\gamma \rightarrow \alpha$.

Во время термической обработки в отливке также могут появиться трещины, если в какой-то ее части растягивающие напряжения на срез превысят предел прочности.

Термической обработке подвергают, как правило, отливки с остаточными литейными напряжениями [(+) и (–) на рис. 15.18]. Остаточные растягивающие напряжения в толстой части в дальнейшем увеличиваются за счет возникающих здесь временных растягивающих напряжений, пока тонкая часть не достигнет области пластических деформаций (кривые 1' и 2'). В этот период в отливке легко могут образоваться трещины, особенно если отливка изготовлена из сплава с низкой теплопроводностью и низким относительным удлинением. По этой причине скорость нагрева в области упругих деформаций не должна быть выше определенной заданной величины. (Так, например, у углеродистых сталей эта скорость должна составлять 25 мм толщины за каждый час.)

Когда самая горячая часть достигает области пластических деформаций, напряжения в отливке исчезают.

15.4.3.1. Отжиг для уменьшения напряжений

Принятая обычно формулировка «отжиг для снятия напряжений» не совсем точна, потому что полностью напряжения не удаляются, а только уменьшаются. Изложенное ранее представляет основу для проведения отжига с целью уменьшения напряжений. Отливку нагревают до области пластических деформаций, однако лишь немного выше над $t_{кр}$, при которой полностью прогревают; стальные отливки нагревают до 650 °С. Затем отливку охлаждают так, чтобы при переходе через $t_{кр}$ между отдельными частями отливки практически не было разницы температур. Это понятно, потому что чем выше $\Delta t_{кр}$, тем больше образующиеся остаточные термические напряжения. В дальнейшем охлаждение может идти с любой скоростью, потому что при этом образуются только временные термические напряжения.

Поэтому нежелательно, чтобы отливку нагревали слишком высоко над $t_{кр}$, так как потом при ее охлаждении сравнительно большими будут величина $\Delta t_{кр}$, а тем самым и остаточные термические напряжения.

15.4.4. Меры предупреждения растрескивания отливок

Из механизма образования термических и фазовых напряжений вытекают и меры предупреждения растрескивания отливок. В неизотермичных отливках нежесткой конструкции не приходится опасаться трещин от термических и фазовых напряжений, потому что отливка уже деформировалась во время охлаждения под действием неоднородного температурного поля.

Наиболее велика опасность трещин у неизотермичных отливок жесткой конструкции, особенно из материалов, малотеплопроводных и с низкими пластическими свойствами. Чем неблагоприятней эти условия, тем больше надо уменьшить разницу температур между отдельными остывающими частями отливки, применяя разные способы, в том числе ускоряя охлаждение толстых частей, замедляя охлаждение тонких частей, а иногда делая то и другое одновременно.

Если этого недостаточно, а конструкция должна остаться жесткой,

надо несколько уменьшить степень неизотермичности отливки, изменив ее конструкцию, а именно ослабив толстые и иногда усилив тонкие части.

Если конструктор не может снизить степени неизотермичности, он должен пойти на уменьшение жесткости конструкции отливки. При известной податливости отливка не треснет, даже если она в высокой степени неизотермична. В случае необходимости при меньшей степени податливости иногда желательно применить охлаждение отливки, как указано выше.

Описанные меры пригодны для уменьшения термических и фазовых напряжений. У отливок жесткой конструкции даже из сплава железа с превращением $\gamma \rightarrow \alpha$ фазовые напряжения не возникают, если превращение одновременно происходит во всех частях отливки. Это, конечно, возможно только при изотермическом охлаждении отливки. У неизотермичных отливок нежесткой конструкции превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ протекает неодновременно в разных местах, однако это не грозит целостности отливки – отливка попеременно коробится в разных направлениях.

15.4.4.1. Испытания на литейные напряжения

В настоящее время существует свыше 40 разных методов и их разновидностей для определения внутренних напряжений в изделиях. К сожалению, для определения литейных напряжений, возникающих при первичном охлаждении отливки, т. е. сразу после заливки, до сих пор нет простого, во всех отношениях подходящего способа.

Остаточные литейные напряжения можно установить, вырезая из остывшей отливки определенный образец в виде стерженька или рамки и оставляя его вылеживаться в течение нескольких дней. Если эта часть отливки была напряжена, образец изменит свои размеры или форму. По этому изменению судят о величине литейных напряжений в месте, откуда брали образец. Отбирая такие образцы на разной глубине и в разных направлениях, по изменению размеров и формы образцов можно сделать вывод о начальном распределении в отливке остаточных литейных напряжений. Этот метод трудоемок, и при нем приходится терять отливку.

Склонность разных сплавов к литейным напряжениям определяют на разных образцах, главным образом на решетках (рис. 15.19).

Параллельные столбики, из которых средний толще каждого из крайних, связанные по концам поперечинами, образуют неизотермичную нежесткую решетку. При охлаждении такая отливка деформирует-

ся, как показано пунктиром. Литейные напряжения оценивают следующим образом:

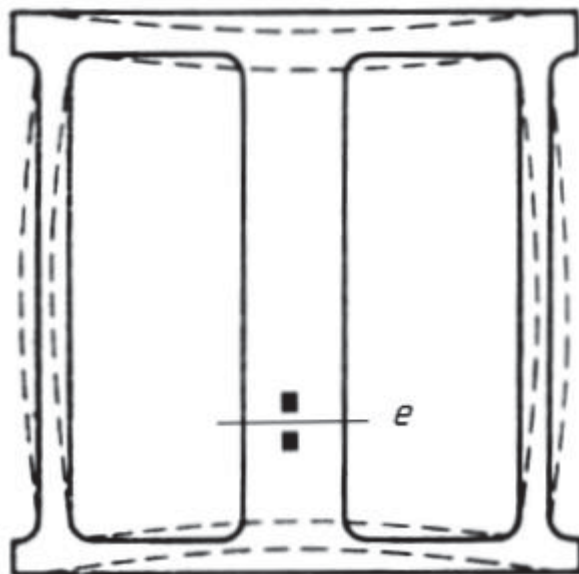


Рис. 15.19. Решетка для определения склонности сплавов к литейным напряжениям.

1. По степени деформации решетки.

2. После того как разрежут толстый средний столбик, в котором имелись растягивающие остаточные напряжения, последние исчезнут, и решетка примет первоначальную форму. Ширина разреза b при этом увеличивается до значения b' . Тогда относительная деформация определяется по формуле

$$\varepsilon = (b' - b)/l, \quad (15.4)$$

где l – длина среднего напряженного столбика; b' – ширина разреза после вылеживания.

По закону Гука деформация пропорциональна напряжению по уравнению

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (15.5)$$

где E – модуль упругости материала при растяжении в Па.

3. Если после разрезки среднего столбика решетка не примет первоначальной формы, это будет свидетельствовать о том, что напряжения, очевидно, превысили предел упругости. В этом случае напряжения находятся в области полупластической деформации, и испытание даст неточный результат.

ФОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Точность отливок по размерам, форме, расположению их элементов и массе определяется технологическими параметрами на всех этапах технологического процесса их изготовления, начиная с изготовления форм и стержней и заканчивая выбивкой отливок, финишными операциями и термической обработкой отливок. Поэтому для рассмотрения процесса формирования точности отливок необходимо подробное знание технологического процесса изготовления отливок.

Не менее важным является и понятийный аппарат из дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация». Эти вопросы и рассмотрены в данной главе наряду со сведениями о структуре припуска на механическую обработку отливок и методике определения припуска.

Значительное место в данной главе уделено вопросам нормирования параметров точности и описанию ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.), который можно использовать для всех способов литья практически любых сплавов.

16.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

При проектировании отливок их геометрические параметры и массы задаются размерами элементов, формой и взаимным расположением поверхностей отливок и требованиями к их плотности. При изготовлении возникают отклонения геометрических параметров и плотности реальных отливок от запроектированных значений. Эти отклонения называются «погрешностями», они могут возникать как в результате внутренних изменений в металле при изготовлении отливок, так и за счет износа модельной оснастки и т.п.

Степень приближения действительных параметров к идеальным (запроектированным) называется «точностью». Для деталей понятия точности и погрешности взаимосвязаны. Точность деталей характеризуется действительной погрешностью (действительная точность) или пределами, ограничивающими значение погрешности (нормированная точность). Чем уже эти пределы, тем меньше погрешности и тем выше точность.

Все вышеотмеченное применимо и для отливок. Отливка будет тем точнее, чем меньше в ней «непролитых» отверстий, меньше технологические напуски, литейные уклоны и припуски на механическую обработку, удаляемые при изготовлении детали.

В связи с этим под точностью отливки понимают степень приближения ее размеров, формы, расположения, показали качества поверхности и массы к соответствующим параметрам идеальной детали.

Точность отливок по геометрическим параметрам представляет собой собирательное понятие, подразделяющееся по следующим признакам: точность размеров, точность формы элементов и их расположения, точность по шероховатости, неровности поверхности отливок и дефектному слою. Точность отливок по массе определяется погрешностями объема (размеров) и плотности.

При конструировании отливки выбор параметров точности связи с условиями функционирования и эксплуатации изделия и условиями его изготовления. Условия эти противоречивы: для правильного функционирования изделия может требоваться сужение пределов допускаемых погрешностей, а для экономичного изготовления – их расширение. Критерием оптимального решения задачи является обеспечение работоспособности изделия при минимальной стоимости его изготовления.

Погрешности, возникающие при изготовлении партии отливок можно разделить на три группы:

- систематические постоянные погрешности – это погрешности, которые имеют одинаковые значения для всей партии отливок, вызваны воздействием факторов, сохраняющих постоянное значение в процессе изготовления отливок, например погрешности из-за неправильного назначения линейной усадки;

- систематические переменные погрешности – это погрешности, которые закономерно изменяются по ходу технологического процесса, например погрешности, вызванные износом модельно-стержневой оснастки и являющиеся функцией времени ее работы;

- случайные погрешности или погрешности рассеивания – это группа погрешностей, которые для нескольких партий отливок могут иметь разные значения, они вызваны действием факторов, имеющих колебания случайного характера, в том числе систематическими погрешностями, если их вступление в процесс и выключение из него носят случайный характер. Например, случайная погрешность размера отливки может быть вызвана колебаниями химического состава сплава, влажности и твердости сырой песчано-глинистой литейной формы, толщины слоя краски и температуры кокиля, размера стержней, температуры заливки и выбивки и т. п.

При использовании одного дублера модельной оснастки погрешности ее размеров носят систематический характер при использовании нескольких дублеров – случайный.

Систематические погрешности могут быть выявлены и в ряде случаев устранены в процессе подготовки производства отливок. Выявление случайных погрешностей требует специальных измерений отливок и обработки полученных результатов на основе методов математической статистики.

16.2. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ

16.2.1. Особенности формирования точности размеров

Первая особенность формирования точности размеров состоит в следующем. При проектировании и изготовлении деталей погрешности размеров задаются в соответствии с условиями эксплуатации той или иной поверхности. При механической обработке возможно выполнение различных требований к параметрам точности для каждого размера поверхности применением разных инструментов и станков.

При изготовлении отливки формирование погрешностей для различных поверхностей взаимосвязано, поскольку используется один инструмент – литейная форма. Вследствие этого точность отливки в ТУ на чертежах указывается общей надписью, например:

Точность отливки – 8-5-4-7 См. 0,8 мм ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.), которая означает: отливка класса точности размеров 8, степень коробления 5, степень точности поверхности 4, класс точности массы 7, допуск смещения 0,8 мм.

Однако необходимо учитывать, что точность разных размеров отливки, как правило, неодинаковая. У всех отливок, изготавливаемых разными способами литья, имеются размеры, пересекающие плоскость разъема модели и формы и выходящие на плоскость разъема, как, например, размеры $D_1, D_2, L_1, L_2, H_2, b_3, b_4$ (рис. 16.1).

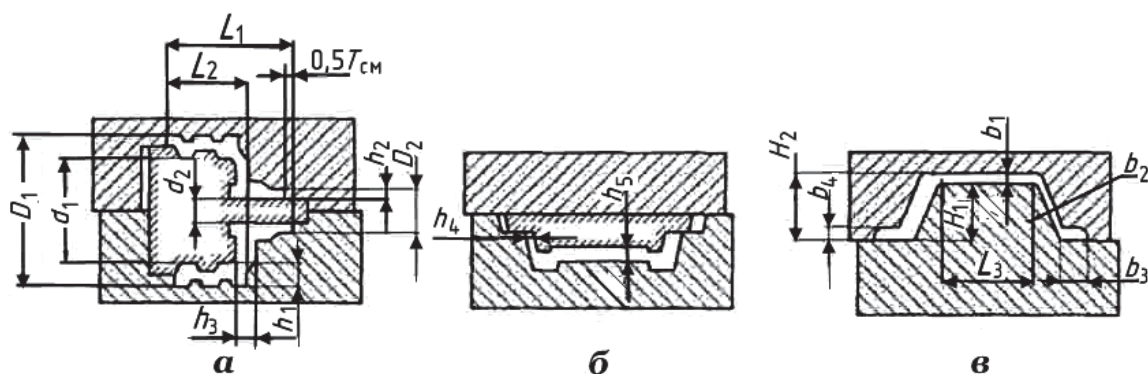


Рис. 16.1. Схемы формовки отливок: а, б – отливка со стержнем; в – отливка с болваном: d_1, d_2, H_1, L_3 – размеры вида ВР1; $D_1, D_2, L_1, L_2, H_2, b_3, b_4$ – размеры вида ВР2; $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, b_1, b_2$ – размеры вида ВР3

Не составляют исключения и отливки типа тел вращения, изготавливаемые центробежным способом литья. При литье по выплавляемым неразъемным моделям влияние разъема также всегда следует учитывать, поскольку модель изготавливают в разъемной форме. Именно точность размеров пересекающих и выходящих на плоскость разъема и учитывающих смещение элементов отливки $T_{\text{см}}$ отражается в общей надписи на чертежах в соответствии с ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.). Этому виду размеров присвоено обозначение ВР2 (В – вид, Р – размер).

Точность размеров, образованных одной полуформой или стержнем и имеющих обозначение ВР1 по ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.), на один–два класса точнее размеров ВР2 (на рис. 16.1, *а, в* размерами ВР1 являются d_1, d_2, H_1, L_3).

Точность размеров ВР3, образованных тремя и более частями формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также точность толщин стенок (на рис. 16.1, *а–в* это размеры $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, b_1, b_2$) на один–два класса «грубее» размеров ВР2 (т.е. точность размеров меньше).

Вторая особенность формирования точности размеров отливок заключается в том, что погрешности размеров одного и того же номинального значения зависят от наибольшего габаритного размера отливок. Объяснение этой зависимости можно дать на примере литья в сырые песчано-глинистые формы. Известно, что при этом способе литья наблюдаются две статистические зависимости: первая – с увеличением габаритных размеров отливки увеличиваются размеры опок, в том числе высота, а, следовательно, и статический напор металла; вторая – с увеличением габаритных размеров (массы) отливок увеличивается средняя толщина их стенок.

Если принять две названные зависимости, то, очевидно, можно утверждать, что с увеличением габаритных размеров отливок будут возрастать также статический напор металла на стенки литейной формы, а, следовательно, и перемещения стенок формы (подутие) и шероховатость поверхностей при одном и том же номинальном расстоянии между этими поверхностями, а также колебания данных величин (перемещений стенок формы и шероховатости).

Установлено также, что при использовании автоматизированных формовочных линий (АФЛ) точность отливок зависит от числа моделей на модельной плите. Экспериментальные замеры отливок, изготовленных на АФЛ моделей KW-276 и SPO, показали, что различие в полях рассеивания размеров отливок, изготовленных по одной и многим (от шести до шестнадцати) моделям, составляет от 20 до 40 %.

Третья особенность формирования точности размеров отливок заключается в чрезвычайно широких полях рассеивания размеров отливок. Самые большие отклонения наблюдаются в размерах отливок, изготовленных в песчано-глинистых формах.

Четвертая особенность формирования точности размеров отливок заключается в том, что в формировании точности участвуют факторы, не зависящие от номинального размера, например шероховатость поверхности. Поэтому доля влияния этих факторов в формировании точности размера будет зависеть от номинального значения размера. В связи с этим необходимо помнить, что долю влияния определенного фактора в формировании какого-либо размера нельзя переносить на другие размеры с иным значением номинального размера.

16.2.2. Анализ факторов, влияющих на точность размеров

Причины возникновения погрешностей размеров отливок многообразны. Однако процесс формирования размеров отливок является идентичным для разных способов литья, и, следовательно, факторы, вызывающие рассеивание размеров, также присущи всем способам литья.

Естественно, что влияние одних и тех же факторов на точность размеров отливок, изготовленных разными способами литья, будет неодинаковым – например, перемещение стенок формы при литье в песчано-глинистые формы и при литье в кокиль не будет одним и тем же. В первом случае причинами перемещений является давление металла и термическое расширение, во втором – только термическое расширение.

Удобнее всего анализ факторов, влияющих на точность размеров, проводить по этапам изготовления отливки, т. е. на стадиях изготовления модельно-стержневой оснастки, изготовления полуформ и стержней, сборки литейных форм и стержней, взаимодействия отливки и формы с момента заливки и до момента выбивки, выбивки отливки, финишных операций (очистки, обрубки, зачистки) и термической обработки.

Изготовление модельно-стержневой оснастки. Точность изготовления модельно-стержневой оснастки определяется в соответствии с ГОСТ 3212–92, в котором принято, что допуск на изготовление модельной оснастки должен быть не более 20 % допуска на размеры отливок.

Например, если допуск на размер отливки 100 мм равен $\pm 1,0$ мм, то допуск на изготовление соответствующего размера модельно-стержневой оснастки должен быть равен или меньше $\pm 0,2$ мм. Важное значение при проектировании оснастки имеют правильный выбор ее номинальных размеров и учет припуска на усадку и износ оснастки, ко-

которые вызывают в отливке постоянную и изменяющуюся систематические погрешности.

Принято считать, что систематическая погрешность должна быть не более 20 % допуска на размер отливки ($\pm 10\%$). В связи с этим целесообразно допуск на размеры оснастки принимать несимметричным и весь допуск или большую часть его давать в плюс (например, вместо $\pm 0,2$ мм принимать $+0,4$ мм).

Представление об износе оформляющих отливку элементов металлической оснастки в наиболее изнашиваемых местах дают данные, приведенные в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Износ оформляющих отливку элементов

Способ литья	Сплавы	Материал модели	Среднее число отливок	Износ на две стороны, мм
В песчано-глинистые формы (встряхивание с подпрессовкой)	Все сплавы	Алюминиевый сплав	100000	0,10...0,30 (до 0,5 мм по плоскости разъема)
В песчано-глинистые формы (прессование, АФЛ конструкции НИИ трактор-сельхозмашина)	Все сплавы	Латунь	100000	4,3
		Бронза	100000	2,8
		Сталь	100000	0,8

Деревянные модели могут изменять свои размеры от влагопоглощения. Для предотвращения этого издавна применяется окраска деревянных моделей. Однако разбухание древесины, даже помытой нитролаком, может достигать 0,1 ...0,2 %.

Данные по линейной усадке отливок и ее колебаниям приводятся при рассмотрении взаимодействия отливки и формы.

Следует остановиться также на таком факторе, как шероховатость рабочих поверхностей модельно-стержневой оснастки. Требования по шероховатости рабочих поверхностей оснастки связаны, главным образом, с условиями извлечения модели (стержня) из формы (стержневого ящика).

Шероховатость поверхностей моделей, стержневых ящиков может быть равна $Ra\ 0,63...6,3$.

В процессе эксплуатации оснастки наблюдается уменьшение исходной шероховатости поверхности, ее «приработка». При этом чем

лучше была обработана поверхность, тем приработка происходит быстрее. Однако обработка поверхности до уровня шероховатости менее $Ra\ 0,63$ приводит к резкому удорожанию оснастки.

Изготовление полуформ и стержней. Наибольшие погрешности возникают при изготовлении песчано-глинистых полуформ и песчаных стержней. Погрешности размеров песчано-глинистых форм появляются как следствие «расталкивания» моделей при их протяжке, упругой отдаче формовочной смеси и опок после снятия давления прессования (подпрессовки), окраски, тепловой обработки.

Увеличение размеров полости формы при расталкивании моделей при машинной формовке составляет $0,2... 0,5$ мм. Упругая отдача формовочной смеси и опок становится заметной при больших давлениях прессования. При этом размеры полости формы изменяются незначительно. В основном происходит искривление лада полуформы. Следует отметить, что упругая отдача смеси и опок будет зависеть при этом от свойств формовочной смеси, давления прессования, жесткости опок и их размеров.

Изменение размеров формы при тепловой сушке зависит от свойств смеси, режима сушки и наличия крестовин в опоках. При нормальной сушке форм в опоках с крестовинами, не доходящими до модели на $25... 30$ мм, в камерных сушильных печах (температура сушки $400...450\ ^\circ\text{C}$) изменения размеров полости форм не происходит. При форсированном режиме сушки (высокая температура и быстрый подъем температуры) форм в опоках с крестовинами или при нормальной сушке форм в опоках без крестовин наблюдается искривление поверхностей в середине длины вертикальных стенок формы (высота стенок опытной формы 450 мм длина 1400 мм, ширина 200 мм) и уменьшение размера по сравнению с моделью на $0,5...3,2$ мм (меньшие значения относятся к верху и низу стенки, большие – к середине ее высоты).

Изготовление стержней производится набивкой вручную и на стержневых машинах с последующей сушкой в печах и отверждением в горячей или холодной оснастке.

На рис. 16.2 приведены среднеквадратические отклонения S_1 и S_2 размеров $\overline{X}_1$, $\overline{X}_2$ стержня картера, изготовленного ручной набивкой и сушкой в печи; прочность сырого стержня $5...8$ кПа, или $0,005...0,008$ Н/мм². На рис. 16.3 даются среднеквадратические отклонения $\overline{S}_a$ и $\overline{S}_b$ размеров $\overline{O}_a$, $\overline{O}_b$ стержня газовых каналов блока цилиндров, изготовленного на пескодувной машине и отвержденного в горячем ящике (индекс «а») и печи (индекс «б»).

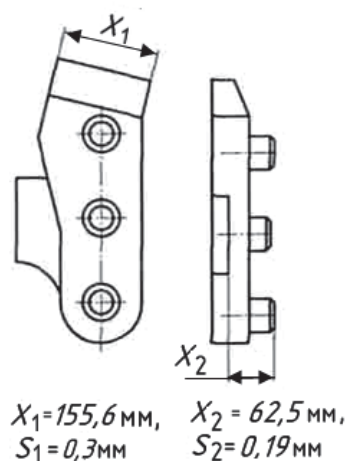


Рис. 16.2. Стержень картера: X_1 X_2 – действительные размеры стержня; S_1 и S_2 – среднеквадратические отклонения соответствующих размеров

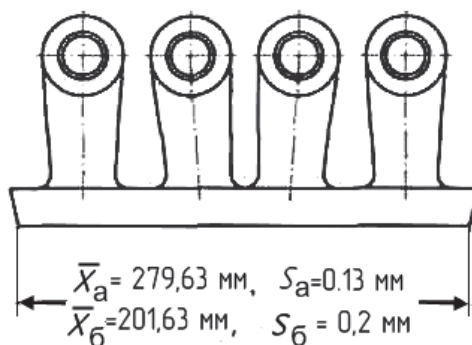


Рис. 16.3. Стержень газовых каналов блока цилиндров: $\bar{X}_a$ $\bar{X}_b$ – размеры стержня, изготовленного по вариантам «а» и «б»; $\bar{S}_a$ и $\bar{S}_b$ – соответствующие вариантам «а» и «б» среднеквадратические отклонения размера X

Сравнивая точность размеров стержней, приведенных на рис. 16.2 и рис. 16.3, можно заключить, что наименьшую точность имеют размеры стержней ручной формовки, отвержденные в печи. Размеры стержней, изготовленных на пескодувной машине и отвержденных в печи, точнее примерно в 1,5 раза. Наконец, стержни, изготовленные на пескодувной машине и отвержденные в горячей оснастке, точнее в 1,5 раза, чем стержни, изготовленные на пескодувной машине, но отвержденные в печи.

В первом случае погрешности размеров обусловлены нестабильным уплотнением, нестабильным ручным расталкиванием стержня, ручной его протяжкой и деформацией стержня при сушке в печи; во втором случае – существенно более стабильным уплотнением и пример-

но таким же нестабильным ручным расталкиванием, протяжкой и меньшей деформацией при сушке; в третьем случае – практическим отсутствием факторов, вызывающих погрешности в первом и во втором случаях. Вместе с тем в третьем случае появляются новые факторы, вызывающие погрешности, – колебания температуры нагретой оснастки, ее расширение и нестабильность процесса взаимодействия стержня и нагретой оснастки.

Процесс взаимодействия стержня и нагретой оснастки может быть проиллюстрирован схемой, приведенной на рис. 16.4.

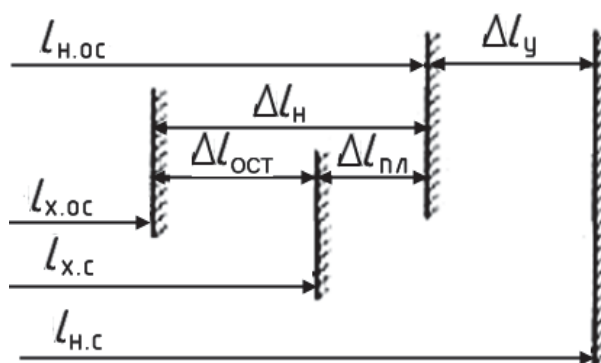


Рис. 16.4. Формирование размера стержня, изготовляемого в нагретой оснастке: $l_{н.ос}$ $l_{х.ос}$ – размер нагретой и холодной оснастки; Δl_y – увеличение размера горячего стержня в момент извлечения; Δl_n – увеличение размера оснастки при нагреве; $\Delta l_{пл}$ – уменьшение размера стержня из-за пластических перемещений; $\Delta l_{ост}$ – разность размеров холодных стержня и оснастки; $l_{нс}$ – размер нагретого стержня; $l_{х.с}$ – то же, холодного

Холодная смесь, уплотненная в нагретой оснастке, при нагреве должна расширяться, но, так как металлическая оснастка практически неподатлива, расширение смеси становится невозможным. Следовательно, в каждый момент времени после надува стержневая смесь нагружается и деформируется на величину ее теплового расширения. Свойства смеси в процессе нагрева изменяются: сначала в ней при нагружении преобладают вязкопластические свойства и происходят необратимые пластические перемещения (доуплотнение смеси), затем по мере отверждения смесь приобретает преимущественно упругие свойства. Именно из-за упругих свойств в момент извлечения стержня из нагретой оснастки должно происходить увеличение его размера $l_{н.ос}$ (размера нагретой оснастки) до $l_{н.с}$ (размера горячего стержня в момент извлечения) вследствие упругой отдачи $\Delta l_y = l_{н.с} - l_{н.ос}$ (рис. 16.4).

После извлечения стержень охлаждается и его размеры уменьшаются. Если бы при нагреве в стержне происходили только упругие перемещения, то после охлаждения его размер был бы равен размеру нагретой оснастки $l_{н.ос}$; при наличии же пластических перемещений сжатия $\Delta l_{пл}$ размер холодного стержня $l_{х.с}$ будет меньше размера $l_{н.ос}$. Следовательно, $l_{х.с} = l_{н.ос} - \Delta l_{пл}$ или $l_{х.с} = l_{н.ос} - (\Delta l_y + \Delta l_{пл})$.

Соотношение размеров холодного стержня $l_{х.с}$ и холодной оснастки $l_{х.ос}$ будет зависеть от пластической деформации и соотношения температурных коэффициентов линейного расширения материала оснастки и стержневой смеси. Для наиболее распространенной пары чугуна оснастка–стержневая смесь на основе кварцевого песка справедливо соотношение $l_{х.с} > l_{х.ос}$. При проектировании оснастки необходимо учитывать остаточную деформацию $\Delta l_{ост} = l_{х.с} - l_{х.ос}$, причем предпочтительнее в виде относительной величины, %,

$$\varepsilon_{ост} = [(l_{х.с} - l_{х.ос})/l_0]100, \quad (16.1)$$

где l_0 – размер отливки, который будет формироваться стержнем.

Величина $\varepsilon_{ост}$, названная «остаточной деформацией стержня», может отличаться от термического расширения ε_n оснастки почти в два раза. Поэтому при проектировании оснастки необходимо учитывать $\varepsilon_{ост}$ и только в первом приближении можно принимать $\varepsilon_{ост} = \varepsilon_n$.

Деформация термического расширения, %, в первом приближении может быть определена по уравнению

$$\varepsilon_n = \alpha(T_{н.ос} - T_{ц})100, \quad (16.2)$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения материала оснастки; $T_{н.ос}$ – начальная температура оснастки; $T_{ц}$ – температура цеха.

Выше описано взаимодействие нагретой оснастки и стержня и возникновение систематической погрешности. В результате колебаний рабочей температуры оснастки и температуры стержня будут возникать и случайные погрешности.

При изготовлении стержней холодного отверждения названные погрешности не возникают, поэтому стержни, отверждаемые в холодной оснастке при продувке газообразного катализатора (амин, SO_2 , метилового эфира муравьиной кислоты), имеют более высокую точность по сравнению со стержнями, изготавливаемыми в нагреваемой оснастке.

Важным фактором, влияющим на погрешности размеров стержней, особенно стержней, отверждаемых в оснастке, является окраска стерж-

ней. На рис. 16.5 показан стержень, который изготавливали в нагреваемой оснастке из сухой смеси и окрашивали при 120 °С графитовыми и тальковыми водными красками кистью, распылением, обливанием, погружением. После высыхания краски остывший стержень измеряли в верхнем (А, Г), среднем (Б, Д) и нижнем (В, Е) сечениях в двух плоскостях параллельной (Г, Д, Е) и перпендикулярной (А, Б, В) плоскости разъема ящика.

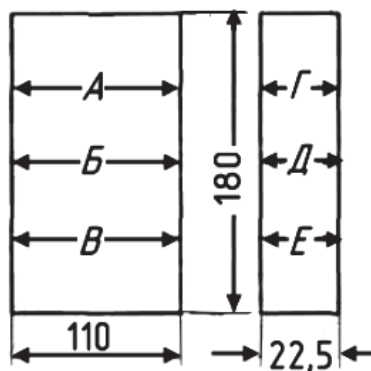


Рис. 16.5. Экспериментальный стержень с указанием сечений А–Е, в которых проводились измерения

Допуск 6S размеров А, Б, В неокрашенного стержня оказался равным 0,36 мм, а для окрашенного кистью, распылением, обливанием, погружением – соответственно 0,78; 1,38; 1,62; 0,6 мм. Наименее точный способ окраски – обливание, и наибольшее отклонение при этом наблюдается на тех частях стержня, которые при окраске находятся внизу (размеры В, Е), что объясняется стеканием краски под действием силы тяжести. При распылении и окраске кистью толщина слоя краски может быть неравномерной, но не зависит от положения стержня при окрашивании. Среднеарифметические значения размеров стержня после окраски увеличились с 110 до 112,5... 114,5 мм (толщина слоя краски 1,26...2,5 мм) и с 22,5 до 23...25 мм (толщина слоя краски 0,25... 1,25 мм). Поэтому при проектировании оснастки в определении заданного размера отливки необходимо учитывать толщину слоя краски. На литейном заводе КамАЗа при проектировании стержневых ящиков и знаков моделей толщину слоя краски принимают равной 0,5 мм.

Сборка литейных форм и стержней. В процессе сборки в форму устанавливают стержни и, если необходимо, жеребейки. Далее накрывают нижнюю полуформу верхней (при горизонтальном разъеме) или смыкают подвижную полуформу с неподвижной (при вертикальном разъеме). Для установки стержней в знаковых частях формы должны быть предусмотрены зазоры, при выборе которых необходимо учитывать точность изготовления не только моделей и стержневых ящиков, но и

стержней, включая операции сушки и окраски. При этом при изготовлении стержней необходим их контроль, например шаблонами, в некоторых случаях вводится операция зачистки. При большом числе стержней применяют их предварительную сборку в кондукторах, как, например, при получении отливки блока цилиндров. Зазоры в знаках стержней зависят от номинальных размеров знака и габаритов стержня (глава 9).

Важнейшей погрешностью при сборке форм является неплотное прилегание собираемых полуформ. Как было отмечено ранее, причиной искривления лада полуформы могут быть упругие деформации формовочной смеси и опоки.

К другим причинам неплотного прилегания можно отнести коробление и износ опок, износ модельных плит под опокой, недостаточную прочность крепления оснастки к оборудованию, неправильную установку модельного комплекта на протяжной раме формовочной машины и т. п. В результате неплотного прилегания полуформ может возникать не только случайная, но и систематическая погрешность. Так на ЗИЛе размеры моделей, перпендикулярные плоскости разъема, уменьшают в связи с этим на 1,5...2,0 мм.

Влияние неплотного прилегания полуформ на размеры отливок наблюдается при всех способах литья, в том числе и при литье по выплавляемым моделям, а также при изготовлении стержней. Естественно, влияние неплотного прилегания по разъему возрастает, если формовка производится в нескольких (более чем в двух) опоках.

Смещение стержней и полуформ рассмотрено в подразд. 16.3, посвященном погрешностям формы и расположения поверхностей.

Взаимодействие отливки и формы. Залитый в форму металл в состоянии разных степеней затвердевания от жидкого до твердого находится с формой в физико-химическом, теплофизическом и механическом взаимодействии. В результате этого взаимодействия формируются качество поверхностного слоя и размеры отливки.

При установлении точности отливки качество ее поверхности оценивается шероховатостью и неровностью, которые будут рассмотрены ниже.

Изменение размеров отливки зависит от давления металла (статического и динамического) и механического взаимодействия отливки и формы, которые являются следствием их теплового взаимодействия. Следовательно, факторами, влияющими на точность отливок, являются теплофизические характеристики, определяющие интенсивность и длительность процесса взаимодействия отливки с формой, и показатели физико-механических свойств сплава и формы (далее в обозначениях ха-

рактических индексы «М» – металл, «Ф» – форма, τ – время): c_m , c_f – теплоемкость металла и формы; ρ_m , ρ_f – плотность, λ_m , λ_f – коэффициенты теплопроводности и их производные; коэффициенты теплопроводности a_m и a_f ($a = \lambda/c\rho$), коэффициенты теплоаккумуляции b_m и b_f ($b = \sqrt{\lambda c\rho}$; $\alpha_m(\tau)$, $\alpha_f(\tau)$ – температурные коэффициенты линейного сжатия (расширения) металла и формы; $T_{зал}$, T_l , T_f – температуры соответственно заливки, ликвидуса сплава и формы перед заливкой; $E_m(\tau)$, $E_f(\tau)$ – модули упругости металла и материала формы; $E_{п.м}(\tau)$, $E_{п.ф}(\tau)$ – модули пластичности соответственно для упругопластического взаимодействия металла и формы.

Модули упругости $E_m(\tau)$, $E_f(\tau)$ и модули пластичности $E_{п.м}(\tau)$, $E_{п.ф}(\tau)$ вместе с конструкцией (геометрическими характеристиками) отливки и формы обуславливают жесткость их взаимодействия, в том числе податливость формы. (Жесткость элемента конструкции при растяжении характеризуется проведением $E \cdot F$, где F – площадь сечения элемента. Жесткость элемента при изгибе характеризуется произведением модуля упругости E на момент инерции сечения J , т.е. EJ).

Конструкция отливки влияет также на статическое давление металла (напор) и вместе с теплофизическими свойствами – на длительность процессов отвода теплоты перегрева, затвердевания и охлаждения, т.е. на длительность охлаждения до температуры выбивки.

При этом следует иметь в виду, что практически все характеристики отливки и формы являются функциями температуры, а металл во времени претерпевает фазовые превращения.

В результате протекания сложных процессов взаимодействия отливки и формы происходит формирование размеров отливки, которые отличаются от размеров модели (формы). Предсказать (рассчитать) действительные размеры чрезвычайно сложно, поэтому на практике в крупносерийном и массовом производствах поступают следующим образом.

При проектировании принимают размеры модельной оснастки (формы) исходя из опыта, далее изготавливают опытную партию отливок, которые обмеряют. На основании выполненных обмеров корректируют размеры модельной оснастки (формы).

По сути, в названных выше действиях полученный итог (являющийся результатом сложного взаимодействия) определяется как разность двух измерений – модели (формы) и отливки. Именно на основа-

нии этих двух измерений и находят действительную линейную усадку отливки.

Все это относится к анализу их формирования и принятию решения по устранению систематических погрешностей. Естественно, что из-за отклонений физико-механических и теплофизических характеристик материалов от заданных значений вследствие тех или иных причин возникают и случайные погрешности. Появление случайных погрешностей размеров данной отливки связано непосредственным влиянием таких характеристик заливаемого металла, как $\alpha_m(\tau)$, $T_{\text{зал}}$, $T_{\text{л}}$, $E_m(\tau)$, $E_{\text{п.т}}(\tau)$, а также его теплофизических свойств. Колебания значений данных характеристик связаны с колебанием химического состава сплава (в пределах заданных допусков по отдельным элементам). Теплофизические свойства заливаемого сплава также будут изменяться, приводя к соответствующим изменениям размеров.

В качестве примера можно рассмотреть влияние колебаний температуры ликвидуса сплава. Статистическая обработка результатов определения химического состава серых чугунов на ЗИЛ, ГАЗе, заводе «Центролит» (г. Саранск) показала, что колебания углеродного эквивалента чугуна достигают 0,55... 0,65 %.

Как известно, при изменении содержания углерода или углеродного эквивалента на 1 % значение $T_{\text{л}}$ изменяется на величину до 100 К (100 °С). Следовательно, значительные колебания значений $T_{\text{л}}$, в свою очередь, вызывают существенные колебания других параметров.

На колебания теплофизических и физико-механических характеристик песчано-глинистых смесей сильное влияние оказывают колебания состава формовочной смеси, ее влажности, уплотненности (колебания уплотненности зависят как от состава смеси, так и от работы оборудования).

Следует обратить особое внимание, как влияет состав формовочной смеси на температурный коэффициент ее линейного расширения. В частности, при замене природного кристаллического кварцевого песка ($\alpha_{\text{ф}} = 13,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$) плавленным кварцем ($\alpha_{\text{ф}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$) при литье по выплавляемым моделям точность отливок повышается на два-три класса по ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.).

Нестабильность песчано-глинистой формы проявляется и в том, что колебания размеров отливок увеличиваются при возрастании давления металла (напора или высоты верхней полуформы). При этом увеличива-

ются не только номинальные размеры отливки из-за подутия, но и колебания подутия и размера. Это находит подтверждение при исследовании точности коленчатых валов, изготавливаемых в тонкостенных формах.

Сравнение точности отливок из алюминиевых сплавов и чугуна, изготовленных в сырых песчано-глинистых формах, показывает, что точность отливок из алюминиевых сплавов в 1,25–1,3 раза выше, чем отливок из серого чугуна.

Различие в точности связано, главным образом, с такими факторами:

1) давление жидкого алюминиевого сплава (следовательно, и напор, связанный, в том числе с плотностью материала) примерно в 3 раза меньше, чем у чугуна;

2) температура заливки алюминиевого сплава (около 700 °С) примерно в 2 раза ниже температуры заливки чугуна (1350... 1400 °С).

Кроме того, не следует забывать, что измеренные размеры отливок всегда включают шероховатость поверхности, а шероховатость чугунных отливок и ее колебания, как правило, выше, чем отливок из алюминиевых сплавов.

Выбивка отливок из формы. Колебания температуры выбивки наиболее сильно влияют на погрешности размеров отливок при литье в металлические формы. Как уже отмечалось, металлическая форма неподатлива, т. е. размеры отливки, пока она находится в форме, будут равны размерам формы. При выбивке отливки за счет упругих сил отдачи ее размеры уменьшаются.

С колебаниями температуры выбивки из-за упругой (обратимой) деформации могут быть связаны до 85 % колебаний размера кокильной отливки. В этой связи еще раз отметим, что процентная доля влияния любого фактора на колебания размера отливки зависит от номинального значения размера.

При литье в неметаллические формы названное явление также может наблюдаться, хотя и в меньшей степени. Но колебания температуры выбивки будут приводить к изменению напряженного состояния сплава не только из-за изменения условий охлаждения (в форме или на воздухе), но и из-за того, что при выбивке отливки условия освобождения от формовочной и особенно стержневой смеси неодинаковы.

В крупных чугунных отливках по этой причине при ранней выбивке могут возникать холодные трещины. Поэтому температура выбивки, например отливок станин, составляет обычно 200...300 °С, несмотря на значительное увеличение времени охлаждения в форме.

Финишные операции и термическая обработка отливок. Шероховатость поверхности отливок зависит не только от технологии литья, но и от качества очистки поверхности. Колебания шероховатости поверхности оказывают определенное влияние на колебания размеров (см. далее подразд. 16.4.1). На точность размеров отливок оказывает также влияние наждачная обработка (зачистка), но так как обычно таким способом удаляются только заливы и остатки питателей, его влияние проявляется лишь на ограниченных участках.

При термической обработке отливок происходят изменения размеров вследствие структурных превращений в сплаве, изменении его напряженного состояния при снятии остаточных напряжений и пластических деформаций из-за плохой усадки отливок.

При отжиге белого чугуна на ковкий размеры увеличиваются на 1 ...2 % в связи с выделением графита в свободном состоянии. Аналогичная картина наблюдается при отжиге затвердевающего «по-белому» высокопрочного чугуна, модифицированного магнием. Естественно, что при термической обработке появляются не только систематическая погрешность, но и колебания размеров.

В качестве примера рассмотрим погрешности размеров после отжига отливки коленчатого вала из высокопрочного чугуна, изготавливаемого на ГАЗе (рис. 16.6). Коленчатый вал отливали в оболочковую форму с засыпкой чугунной дробью в контейнере. Литые валы подвергали высокотемпературному отжигу, затем правке и обрезке в штампах после вторичного нагрева до температуры 650 °С. При этом случайные погрешности размеров X_1 и X_2 составили значительную величину ($6S = 3$ мм), систематическая погрешность достигла 1 мм.

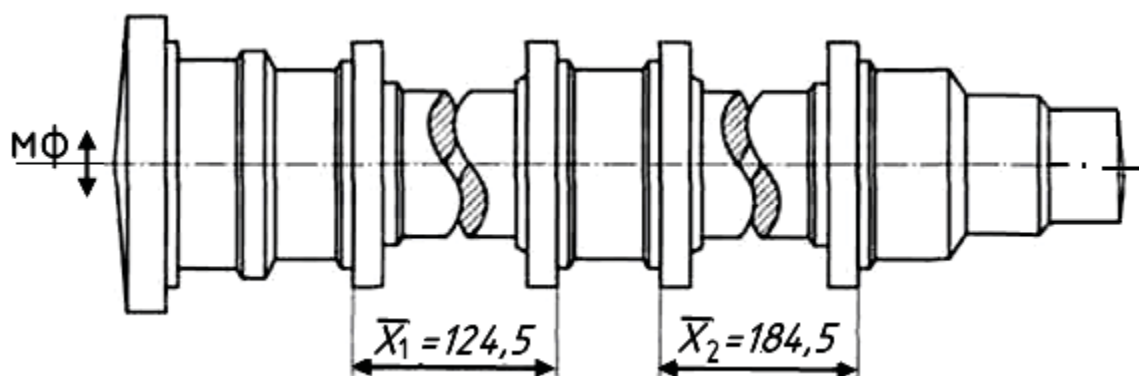


Рис. 16.6. Эскиз коленчатого вала:

МФ – разъем модели и формы; $\overline{X_1}$ $\overline{X_2}$ – средние размеры отливки

Низкая точность явилась следствием искажения размеров оболочковой формы из-за неравномерного ее нагрева (особенно по толщине), из-за действия давления залитого металла, а также искривления валов при высокотемпературном отжиге вследствие графитизации и пластической деформации, вызванной неверной укладкой отливок в печи.

16.3. ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Отклонением формы называется отклонение формы реальной поверхности от формы номинальной поверхности. Под номинальной поверхностью понимается идеальная поверхность, форма которой задана чертежом или другой технической документацией. Отклонения формы могут также рассматриваться применительно к профилю (линии пересечения с плоскостью или поверхностью). Отклонения формы оцениваются на нормируемом участке.

Поле допуска формы – это область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности или реального профиля в пределах нормируемого участка.

«Отклонением расположения» называется отклонение реального (действительного) расположения рассматриваемого элемента (поверхности, оси или плоскости симметрии) от номинального положения. Под номинальным понимается расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми (координирующими) размерами между рассматриваемым элементом и базами.

К отклонениям формы поверхностей относят отклонение от прямолинейности с допуском прямолинейности, отклонения от плоскостности с допуском плоскостности, отклонения от заданного криволинейного профиля с допуском, отклонения от заданной криволинейной поверхности с допуском, а также отклонения и допуски цилиндричности и круглости.

К отклонениям расположения элементов относятся отклонения параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, позиционное отклонение и отклонение от пересечения осей. Наиболее характерным отклонением расположения в отливках является смещение по плоскости разъема.

Допуск смещения $T_{\text{см}}$ по плоскости разъема отливки равен разности между предельными отклонениями положений частей отливки, формируемых в разных полуформах, от номинального положения $T_{\text{см}} = D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$ (рис. 16.7).

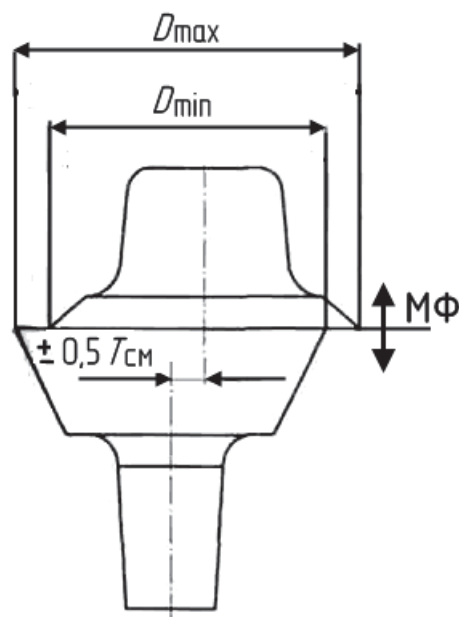


Рис. 16.7 Смещение $T_{\text{см}}$ по плоскости разъема отливки: МФ – разъем модели и формы; D_{max} , D_{min} – максимальный и минимальный диаметр из-за смещения по плоскости разъема

Примерами позиционного допуска могут служить допуск расположения оси отверстия диаметром d относительно баз 1, 2 механической обработки (рис. 16.8, а), а также позиционный допуск при обработке внутренней поверхности A (рис. 16.8, б).

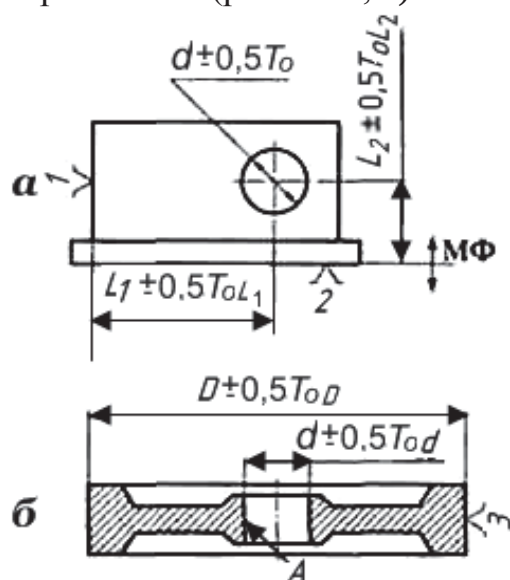


Рис. 16.8. Позиционный допуск: а – оси диаметра отверстия относительно баз механической обработки; б – оси диаметра отверстия d относительно базового диаметра D ; $\pm 0,5 T_o$ – предельные отклонения размера; 1, 2, 3 – базы; А – внутренняя поверхность

В первом случае позиционный допуск $T_{\text{поз}}$ определяется как вероятностная сумма допусков на расстояния L_1 и L_2 от баз 1, 2 до оси обрабатываемого отверстия: $T_{\text{поз}} = \sqrt{T_{\text{оL}_1}^2 + T_{\text{оL}_2}^2}$.

Во втором случае позиционный допуск определяется половиной допуска $T_{\text{оD}}$ на внешний диаметр отливки. При обработке поверхности A внутреннего диаметра относительно внешней базовой поверхности Z позиционный допуск будет равен половине допуска на внутренний диаметр, т.е. $T_{\text{поз}} = 0,5T_{\text{оD}}$.

Основной причиной возникновения погрешностей формы является коробление отливок в процессе охлаждения в литейной форме и после выбивки, а также в процессе термической обработки отливок (снятие остаточных напряжений и пластическая деформация под действием собственного веса и веса других деталей).

Коробление отливок в литейной форме и после выбивки происходит из-за неоднородности температур по несимметричному сечению или из-за разностенности, вследствие которых в отливке возникают неоднородные напряжения и неоднородные пластические деформации. При этом коробление, например, бруса постоянного сечения при данном распределении (разности) температур будет обратно пропорционально высоте сечения и прямо пропорционально длине сечения, а форма сечения (ее момент инерции и момент сопротивления) на искривление не влияет.

В некоторых случаях, во избежание искривления отливок, модель изготавливают искривленной в противоположном направлении, т. е. с обратным прогибом. В практических рекомендациях по назначению обратного прогиба моделей также исходят из прямой пропорциональности прогиба длине нормируемого участка. Значения прогиба указывают в миллиметрах на 1 м длины отливки. Следует заметить, что обратный прогиб моделей предусматривается для уменьшения припуска на обработку не только с целью экономии металла, но, главным образом, для того, чтобы не был удален плотный поверхностный слой металла, от которого зависит долговечность детали, например направляющих станин.

При данных характеристиках сечения и длине нормируемого участка коробление будет зависеть от тех же факторов, которые влияют на точность размеров и которые были рассмотрены в подразд. 16.2.2. Не повторяя анализа влияния этих факторов на погрешности формы, отметим лишь, что в данном случае влияние всех этих факторов необходимо рассматривать по степени их воздействия на погрешности формы.

Другой причиной погрешностей формы в отливках является искривление отливок в процессе термической обработки вследствие снятия неоднородных по сечению отливки остаточных напряжений, неоднородного протекания фазовых превращений при термической обработке (например, при графитизирующем отжиге отливок из ковкого и высокопрочного чугуна) и пластических деформаций изгиба под действием собственного веса и из-за неправильной укладки отливок в печи. Возможны также искривления из-за неоднородного распределения температур и протекания вследствие этого пластических деформаций при закалке и других режимах термической обработки.

В некоторых случаях после охлаждения в литейной форме или после термической обработки отливки выправляют в печи, используют местный нагрев или в прессах, как, например, некоторые отливки из ковкого чугуна (ступица заднего колеса грузового автомобиля ЗИЛ) и высокопрочного чугуна (коленчатый вал автомобиля ГАЗ, рис. 16.9).

В ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) допуски формы и расположения определяются на нормируемом участке по заданной степени коробления (всего их одиннадцать).

По степеням коробления определяются допуски формы, допуски предельного профиля цилиндрической поверхности (изогнутости), а также суммарные допуски формы и расположения, которые являются результатом одновременного появления отклонений формы и расположения рассматриваемого элемента (профиля или поверхности) относительно заданной базы.

При этом допуски даются в диаметральном выражении, так как отклонения возможны в обе стороны.

Допуски расположения, как правило, связаны с допусками на соответствующие размеры. Например, допуск смещения по плоскости разъема не должен превышать 50 % допуска на толщину стенки, пересекающей разъем.

Следует более подробно остановиться на анализе факторов, влияющих на смещение отливки по плоскости разъема. Смещение по плоскости разъема возникает во всех отливках, изготавливаемых разными способами литья. Наибольшие величины смещения наблюдаются при изготовлении песчано-глинистых форм по модельным плитам верха и низа. Погрешность в этом случае возникает в результате четырех операций:

- 1) при монтаже половин моделей на модельных плитах;
- 2) при изготовлении верхней полуформы (зазор в соединении штырь – втулка);
- 3) при изготовлении нижней полуформы (тот же зазор);

4) при спаривании полуформ (двойной зазор в соединениях штырь – втулка).

16.4. ШЕРОХОВАТОСТЬ И НЕРОВНОСТНОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТЛИВОК

16.4.1. Шероховатость поверхностей отливок

Характеристики шероховатости Ra , Rz со значениями от 1 до 1000 мкм и методика их контроля на базовой длине приводятся в ГОСТ 2789–73.

Шероховатость поверхности отливок существенно отличается от шероховатости механически обработанной поверхности, которая имеет сравнительно упорядоченное строение в виде чередующихся выступов и впадин – следов режущего инструмента. Шероховатость литой поверхности является неупорядоченной с хаотическим расположением выступов и впадин, их различной формой и взаимным расположением.

Шероховатость поверхности отливок зависит от большого числа факторов: состава сплава; температуры заливки; продолжительности затвердевания отливки (толщины стенки, массы отливки); качества разделительных и огнеупорных покрытий; величины зерна и степени однородности формовочной смеси (для литья в неметаллические формы); давления (напора) металла, газового режима; химического сродства оксидов заливаемого сплава и оксидов, входящих в состав формовочной смеси; теплофизических свойств смеси. Кроме того, шероховатость поверхности отливок зависит от качества их очистки.

Для контроля шероховатости поверхности отливок в настоящее время применяются эталоны шероховатости в соответствии с ГОСТ 2789–73 и ГОСТ 25142–82.

Шероховатость поверхности отливок увеличивает номинальный размер и массу отливок, и их погрешности. При этом в расчетных величинах размера и массы отливки шероховатость, как правило, не учитывается. Вместе с тем при литье в песчано-глинистые формы шероховатость может играть существенную роль в формировании размера и массы отливок.

16.4.2. Неровность поверхностей отливок

Совокупность повторяющихся, или локальных неровностей средней величины (мезонеровностей, т. е. неровностей поверхности, отдельные значения шага которых превышают базовую длину, на которой из-

меряется шероховатость данной поверхности) представляют собой неровность литой поверхности.

Неровность поверхности отливок возникает вследствие неравномерности толщины слоя краски, неравномерного износа модельно-стержневой оснастки, неравномерного подутия, возникающего как вследствие неоднородного уплотнения формовочной смеси, так и из-за неодинаковых условий силового и теплового нагружения различных участков формы.

По величине неровность занимает промежуточное положение между шероховатостью и отклонениями формы поверхности. Базовой линией для определения значений параметров неровности служит средняя линия профиля поверхности, при этом базовая длина для измерения неровности поверхности принимается равной 4–10 базовым длинам для измерения ее шероховатости, но не более 100 мм. Допуск неровности поверхности ограничивает наибольшую величину неровности, т.е. сумму наибольших высот выступов и впадин поверхности.

Для обрабатываемых поверхностей отливок неровность должна учитываться в припуске на механическую обработку, для необрабатываемых поверхностей она характеризует потребительские свойства готовых деталей. В последнем случае для улучшения потребительских свойств изделий иногда приходится зачищать поверхность отливки абразивным инструментом или увеличивать расход краски (грунтовки) для выравнивания поверхности.

Допуск неровности обозначается сочетанием трех латинских букв – *JRS* и цифровым значением его величины, которые проставляют после запятой за знаком шероховатости (например, *Ra20, JRS 0,8*).

16.5. ТОЧНОСТЬ МАССЫ ОТЛИВОК

Масса является обобщенной характеристикой технологического процесса изготовления отливок, а ее отклонения являются интегральным показателем погрешностей размеров (объема) и плотности.

Допуск массы T_m для партии отливок характеризуется относительной величиной, %,

$$T_m = (6S_m / \bar{m})100, \quad (16.3)$$

где S_m – среднеквадратическое отклонение массы, кг; $\bar{m}$ – среднеарифметическое значение массы. Среднеквадратическое отклонение массы S_m является средне-квадратическим отклонением функции двух случайных величин – объема V плотности ρ . Как известно, в этом случае

$$S_m = m \sqrt{\frac{S_V^2}{\bar{V}^2} + \frac{S_\rho^2}{\bar{\rho}^2} + \frac{1}{\bar{V}_\rho}}, \quad (16.4)$$

где $\bar{V}$, $\bar{\rho}$ – математические ожидания (среднеарифметические значения) объема и плотности; S_V , S_ρ – среднеквадратические отклонения соответственно объема и плотности.

Из полученного выражения видно, что погрешности массы зависят от погрешностей объема и плотности и их среднеарифметических значений. Погрешности объема определяются погрешностями размеров, формы, расположения, шероховатости и неровности поверхностей. Анализ влияния различных факторов на геометрические погрешности рассмотрен ранее. Погрешности плотности определяются типом сплава (главным образом интервалом его кристаллизации), колебаниями химического состава, газонасыщенностью, характером кристаллизации (последовательная, объемная), условиями и качеством питания (размерами, количеством, конструкцией прибылей и давлением металла) и т. п. При этом плотность и погрешность плотности зависят от требований к отливке, в том числе от требований к герметичности.

Основное влияние на колебания плотности оказывают колебания химического состава, а также газовая и усадочная пористость. При пластической деформации, например чугуна, плотность увеличивается на 3... 4 %. Величина разброса плотности металла при литье в песчано-глинистые формы для машинной формовки по металлическим моделям достигает: для отливок из серого чугуна 1,35...6,50 %, для отливок из ковкого чугуна 2,23...6,31 % и для стальных отливок 2,27... 6,97 %.

16.6. ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Толщина слоя металла, удаляемого с поверхности отливки при ее обработке в целях обеспечения заданных размеров, формы, расположения, неровности и шероховатости поверхности детали, называется «припуском на механическую обработку». Величина припуска зависит не только от точности отливки, но и от требований к точности детали, а также от технического уровня (точности) систем механической обработки.

Таким образом, выбор экономически целесообразной величины припуска на обработку – это результат совместной работы технолога-литейщика и технолога по механической обработке на стадии проектирования технологического процесса изготовления отливок. Общий припуск на обработку $Z_{\text{общ}}$ (рис. 16.9) соответствует расстоянию между се-

рединами полей допусков детали и отливки и является суммарным на все переходы механической обработки

$$Z_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (16.5)$$

где Z_i – припуск на выполнение i -го перехода; n – общее число переходов.

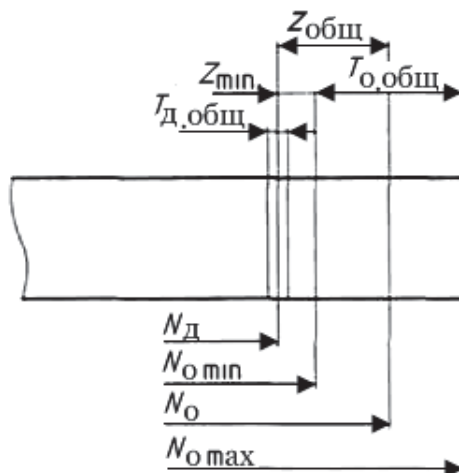


Рис. 16.9. Структура припуска на механическую обработку: Z_{min} , $Z_{\text{общ}}$ – соответственно минимальный и общий припуски на обработку; $N_{\text{о min}}$, $N_{\text{о max}}$ – минимальные и максимальные размеры отливки; $N_{\text{д}}$, $N_{\text{о}}$ – соответственно размер детали и отливки; $T_{\text{д,общ}}$ – общий допуск на размер детали; $T_{\text{о,общ}}$ – то же, отливки

Припуск на механическую обработку на выполнение i -го перехода определяется двумя составляющими: параметром качества поверхностного слоя $П1_{(i-1)}$ на $(i-1)$ -м переходе и параметром геометрической точности $П2_i$ детали после каждого i -го перехода механической обработки,

$$Z_i = П1_{(i-1)} + П2_i. \quad (16.5)$$

На первом переходе параметр $П1_{(i-1)}$ равен исходному литейному припуску, который формируется на отливке (на нулевом переходе обработки). На всех последующих переходах припуск формируется в соответствии с технологией механической обработки.

16.6.1. Исходный литейный припуск

Исходный литейный припуск необходим для обеспечения заданных требований к качеству (шероховатости, бездефектности) поверхности детали и зависит от толщины поверхностного слоя шероховатости и неровности поверхности отливки. Исходный литейный припуск равен

сумме высот шероховатости, неровности и толщины поверхностного (дефектного) слоя.

Следовательно, при назначении припуска необходимо учитывать величину поверхностного слоя отливки. В ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) исходный литейный припуск изменяется от 0,1 до 10 мм и разбит на 18 рядов припусков (РП) с постоянным множителем 1,25 (табл. 16.2).

Таблица 16.2

Минимальный литейный припуск на сторону

Ряд припуска (РП) отливки	Минимальный литейный припуск на сторону, мм, не бо-	Ряд припуска (РП) отливки	Минимальный литейный припуск на сторону, мм, не бо-
1	0,1	10	1,6
2	0,2	11	2,0
3	0,3	12	2,5
4	0,4	13	3,0
5	0,5	14	4,0
6	0,6	15	5,0
7	0,8	16	6,0
8	1,0	17	8,0
9	1,2	18	10,0

Поверхностный слой в деталях и отливках отличается от основной массы металла видоизмененными характеристиками: структурой, химическим составом, свойствами, в том числе механическими (в частности, твердостью и прочностью). Поверхностный слой на отливках часто называется «литейной коркой». При этом литейная корка может обладать свойствами как улучшающими, так и ухудшающими качество отливок.

При изготовлении отливок из серого чугуна в песчано-глинистых формах литейная корка достигает десятых долей миллиметра. Эксперименты, проведенные по высверливанию сердцевины образцов диаметром 30 мм и испытанию пустотелой оболочки, показали, что прочность последней выше прочности всего образца на величину до 10 %.

При отжиге белого чугуна на ковкий ферритный чугун образуются обезуглероженный слой и так называемая «перлитная кайма». Толщина обезуглероженного слоя составляет при этом 0,2...0,3 мм, а толщина перлитной каймы – 0,8... 1,0 мм. Следует заметить, что при механической обработке чугунных отливок стремятся к тому, чтобы резец проходил под литейной коркой и перлитной каймой, поскольку в противном случае до 30 % снижаются скорости резания и одновременно увеличивается износ инструмента. В условиях массового производства

отливки с перлитной каймой вызывают поломки режущего инструмента на автоматических линиях. Проблема решается применением абразивного инструмента, при этом можно уменьшить припуск на обработку.

16.6.2. Параметр геометрической точности

Параметр геометрической точности детали $П2_i$ зависит от допусков на размеры детали ($T_{дi}$) и отливки (T_o), а также допусков формы ($T_{д.фi}$ $T_{ф}$) и расположения (позиционных допусков $T_{д.пi}$, $T_{o.п}$ и допусков смещения детали $T_{д.смi}$ и отливки $T_{o.см}$) обрабатываемого элемента относительно базы механической обработки. Все допуски, относящиеся к поверхности отливки и детали, можно объединить и назвать «общим допуском».

Общий допуск элемента отливки на первом переходе $T_{o.общ}$ – это комплексный допуск, включающий в себя допуск размера от обрабатываемой поверхности до базы и независимо полученные допуски формы и расположения нормируемого участка поверхности. Величина $T_{o.общ}$ определяется по следующей формуле:

$$T_{o.общ} = \sqrt{T_o^2 + T_{ф.общ}^2} = \sqrt{T_o^2 + T_{o.ф}^2 + T_{o.п}^2 + T_{o.см}^2}, \quad (16.6)$$

где T_o , $T_{o.ф}$, $T_{o.п}$, $T_{o.см}$ – соответственно допуски размера, формы, позиционного расположения обрабатываемой поверхности относительно базы и смещения элементов отливки; $T_{ф.общ}$ – общий допуск формы и расположения отливки.

Аналогично определяется общий допуск детали на i -м переходе, включая первый:

$$T_{o.общ} = \sqrt{T_{дi}^2 + T_{д.ф.общi}^2} = \sqrt{T_{дi}^2 + T_{д.фi}^2 + T_{д.пi}^2 + T_{д.смi}^2}. \quad (16.7)$$

Параметр геометрической точности вычисляется по выражению

$$П2_i = 0,5 \sqrt{T_{дi}^2 + T_{д(i-1)}^2}. \quad (16.8)$$

На первом переходе. $T_{д.общ(i-1)} = T_{д.общ} = T_{o.общ}$, т.е. общий допуск детали на первом переходе равен общему допуску отливки.

С целью упрощения рекомендуется для нахождения общего допуска использовать данные табл. 16 из ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.), по которой одновременно можно найти общий допуск для двух составляющих: допуска размера и допуска формы и расположения поверхности. Если таких величин более двух, то операцию расчета проводят по-

следовательно: сначала для двух величин, затем для общего допуска как результирующего двух величин и третьей погрешности и т.д.

16.6.3. Определение общего припуска

Общий припуск в ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) является наибольшим, предельным. Технологи по механической обработке могут предлагать его уменьшение после подробных расчетов и измерений. Упрощенно число переходов принято равным четырем: черновая, получистовая, чистовая и тонкая обработки. При этом общий припуск является суммарным для всех переходов обработки: черновой; черновой и получистовой; черновой, получистовой и чистовой; черновой, получистовой, чистовой и тонкой. Следовательно, припуск, соответствующий, например чистовой обработке, включает в себя припуск на три перехода: черновую, получистовую и собственно чистовую обработку. Значения общего припуска приведены в табл. 6 ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.), входными параметрами при использовании которой являются общий допуск элемента поверхности отливки $T_{о.общ}$; ряд припуска (РП), определяемый исходным литейным припуском; число переходов механической обработки.

Общий допуск элемента отливки $T_{о.общ}$ при назначении общего припуска $Z_{общ}$ используется при обработке в приспособлениях, главным образом, в массовом производстве (рис. 16.10, а)

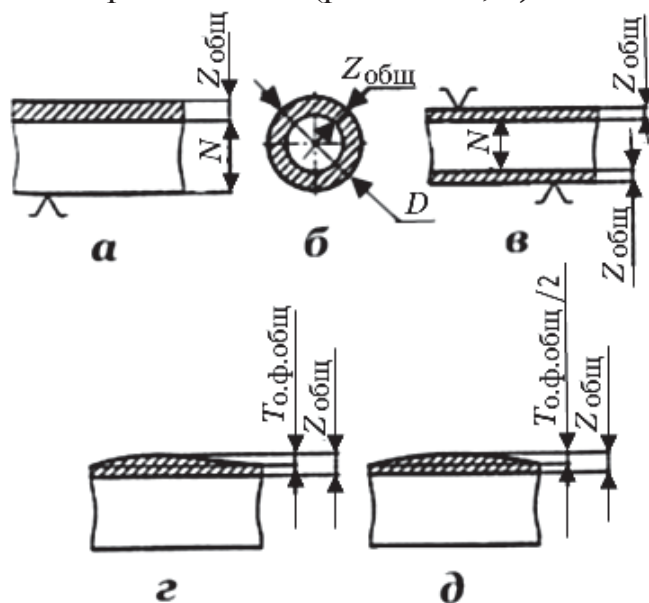


Рис. 16.10. Варианты (а–д) назначения общего допуска для механической обработки: N — номинальный размер; $Z_{общ}$ — припуск на механическую обработку; $T_{о.ф.общ}$ — общий допуск формы поверхности

При назначении общего припуска на поверхности вращения (рис 16.10, б) и противоположные поверхности (рис. 16.10, в), используемые в качестве взаимных баз при их обработке, вместо $T_{0.общ}$ принимают $T_{0.общ}/2$.

При индивидуальной обработке отливок с установкой обрабатываемой плоскости относительно плоскости перемещения режущего инструмента допуск на размер отливки T_0 значения не имеет и может быть принят равным нулю. Основную роль при назначении общего припуска играет допуск формы $T_{0.ф}$ и расположения ($T_{0.п}$ – позиционный допуск, $T_{0.см}$ – допуск смещения), поэтому

$$T_{общ} = T_{ф.общ} = \sqrt{T_{0.ф}^2 + T_{0.п}^2 + T_{0.см}^2}. \quad (16.9)$$

В случае двусторонних отклонений формы и расположения при назначении припуска при индивидуальной обработке принимают $T_{0.общ} = T_{0.ф.общ}$ (рис. 16.10, з), а в случае односторонних отклонений $T_{0.общ} = T_{0.ф.общ}/2$ (рис. 16.10, д).

Вид окончательной механической обработки (черновая, получистовая, чистовая, тонкая) можно определить по соотношению допуска размера от базы до обрабатываемой поверхности детали после окончательной механической обработки T_d и допуска соответствующего размера отливки T_0 или по соотношению допуска формы и расположения детали $T_{д.ф}$ и допуска формы и расположения отливки $T_{0.ф}$ ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.).

Значения припусков, приведенные в табл. 6, ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) следует применять при среднем уровне точности обработки (табл. 16.3).

Таблица 16.3

Взаимосвязь точности обработки и припусков на обработку отливок

Характеристика металлообрабатывающего оборудования	Точность обработки при разной степени точности станков*	
	нормальная	высокая
Автоматизированное оборудование, оснащенное устройствами для стабилизации и управления точностью обработки	—	высокая

Окончание таблицы 16.3

Характеристика металлообрабатывающего оборудования	Точность обработки при разной степени точности станков*	
	нормальная	высокая
Автоматизированное оборудование (агрегатные станки и станки с ЧПУ, автоматические линии из агрегатных станков с ЧПУ и гибких производственных модулей и т. п.)	средняя	повышенная
Неавтоматизированное оборудование (станки с ручным управлением)	пониженная	средняя

*К нормальной степени точности станков отнесены станки нормальной точности, а к высокой степени точности станков — станки повышенной, высокой и особо высокой точности по ГОСТ 8 — 82

При повышенной или высокой точности обработки следует принимать значения припусков, расположенных в табл. 6 ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) соответственно на одну или две строки выше интервала действительного допуска, при пониженном уровне точности обработки — на одну строку ниже интервала действительного допуска.

16.7. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Анализ формирования размерной и геометрической точности и точности массы отливок показал, что повышение точности отливок может быть достигнуто при стабилизации параметров технологического процесса, использовании асимметричных допусков, уменьшении систематических погрешностей, сокращении припуска на обработку.

16.7.1. Стабилизация технологических параметров

В данном подразделе по результатам производственных экспериментов оценено влияние стабилизации технологических параметров, относящихся к форме и металлу при литье в песчано-глинистые формы, на точность размеров (BP1), образованных одной полуформой, и интегрального показателя точности отливок — точности массы. Эксперименты проводили в текущем поточно-механизированном производстве литейного цеха автомобильного завода при изготовле-

нии отливки «чашка дифференциала» из белого чугуна со средней массой 9,5 кг (рис. 16.11). При этом измеряли диаметры D_1 и D_2 , взвешиванием определяли массу отливки и контролировали влажность смеси в форме, твердость формы, температуру заливки чугуна в форму и химический состав (суммарное содержание C + Si в чугуне отливки).

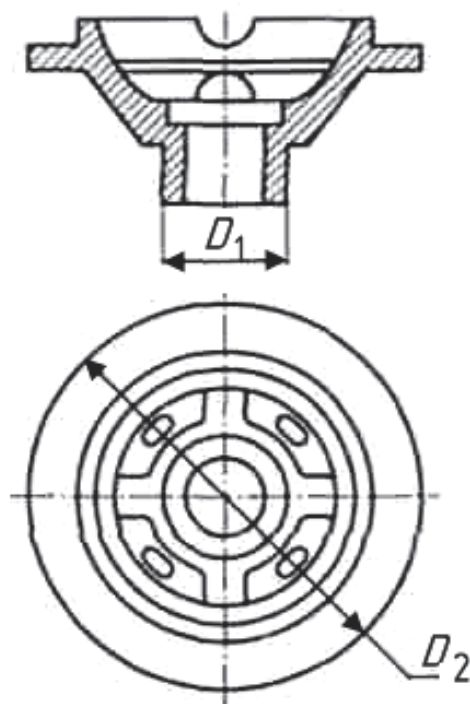


Рис. 16.11. Отливка типа «чашка дифференциала»:
 D_1 , D_2 – контролируемые диаметры отливки

Первые два параметра (влажность и твердость) характеризуют влияние формы на точность, а вторые (температура заливки и химический состав) – влияние металла на точность размеров.

Аналогичные эксперименты в автоматизированном производстве проведены с более высокой технологической дисциплиной. Результаты статистической обработки полученных данных (табл. 16.4) свидетельствуют о том, что в автоматизированном производстве не только колебания параметров меньше, но и уровень параметров, относящихся к форме, другой. Кроме того, в табл. 16.4 приведены результаты расчета допусков размеров отливок в поточно-механизированном производстве при колебаниях значений параметров, которые определены для автоматизированного производства. При этом достигнуто существенное повышение точности.

Таблица 16.4

*Сопоставление допусков размеров с учетом параметров
поточно-механизированного и автоматизированного производств*

Вид производства	Допуск размеров, мм		Технологические параметры			
			Влажность, %	Твердость по твердомеру модели 04412A (071), ед.	Температура, °С	Содержание C+Si, %
	78	246				
Поточно-механизированное	2,4	4,8	5,3 + 0,8	75 + 6	1360 + 60	3,7 + 0,45
Автоматизированное	0,8	1,6	3,6 ± 0,5	81 ± 3	1360 + 30	3,7 + 0,2
Поточно-механизированное (расчет)	1,3	2,6	5,3 ± 0,5	75 ± 3	1360 + 30	3,7 + 0,2

Установлено, что повышение точности размеров (уменьшение допуска) в поточно-механизированном производстве на 65 % достигается за счет более высокой технологической дисциплины. Это свидетельствует о существенных резервах повышения точности. Следует отметить, что уменьшение колебания размеров за счет изменения уровня параметров (уменьшения влажности и повышения прочности) достигает 35 %.

16.7.2. Повышение геометрической точности отливок

Геометрическая точность рассмотрена на примере отливки гильзы цилиндров автомобиля ЗИЛ-130 (рис. 16.12) с наружным диаметром $D = 119$ мм и внутренним $d = 94$ мм. При этом контролировалась погрешность овальности путем измерения внутреннего диаметра на торце во взаимно-перпендикулярных плоскостях, разностенности, смещения ($D_{\max}$ и $D_{\min}$) (рис. 16.12, а), конусности (диаметры d_1 и d_2 , рис. 16.12, б).

Контроль диаметров 94 и 119 мм и обработка результатов показали, что без учета погрешностей формы и расположения, особенно смещения, поле рассеивания составило соответственно 2,4 мм $[(94 \pm 1,2)$ мм и

3,6 мм (119+1,8) мм], а с учетом погрешностей – 3,9 [(94 + 1,95) мм на 38 % больше и 4,7 мм (119 + 2,35) мм на 36 % больше].

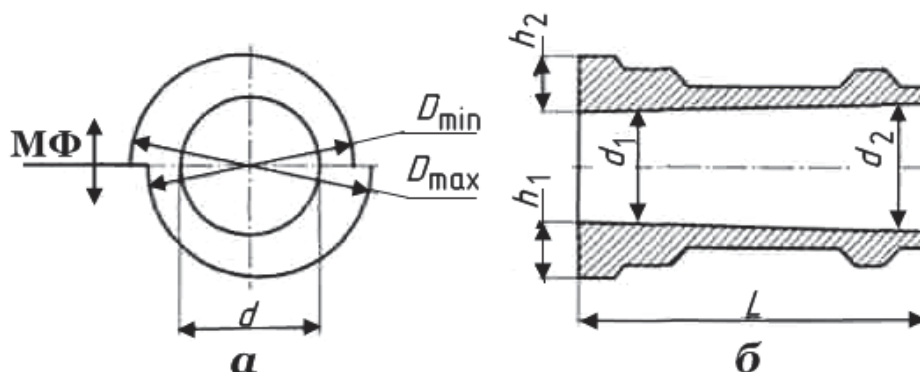


Рис. 16.12. Контроль размеров отливки гильзы: а – контроль наружного диаметра отливки с учетом смещения элементов отливки; б – контроль размеров отливки с учетом погрешностей конусности, разностенности; d – внутренний диаметр отливки; $D_{\max}$, $D_{\min}$ – минимальный и максимальный диаметр из-за смещения по плоскости разъема; d_1 , d_2 , h_1 , h_2 – контролируемые внутренний диаметр и толщина стенок отливки

Смещение по плоскости разъема отливки вызвано увеличенным зазором в системе штырь – втулка, обусловленным износом штырей и втулок опоки и модельной плиты. Результаты измерений диаметров штырей и втулок и их обработка приведены в табл. 16.5.

Таблица 16.5

Результаты статистической обработки обмеров штырей и втулок на АФЛ конструкции НИИ тракторсельхозмаш при экспериментальных исследованиях точности отливки гильзы цилиндр

Объект замеров		Номинальный размер, мм	Статистические характеристики диаметров штырей и втулок, мм			
			для опоки		для модельной плиты	
			$\bar{X}$	$\pm 3S$	$\bar{X}$	$\pm 3S$
Штырь круглый Штырь квадратный	Верх	35,0	34,63	0,66	34,6	0,16
		35,0	29,68	0,51	29,7	0,15
Втулка круглая Втулка разрезная (плоская)	Низ	35,0	35,35	0,78	35,6	0,15
		30,0	30,30	0,57	30,05	0,15

Допуск смещения по ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.) для отливки гильзы цилиндров должен составлять 1,4 мм, а реально составил по квадратному штырю – 1,7 мм, по круглому – 2,76 мм. Следовательно, необходимы строгий контроль за износом штырей и втулок и их своевременная замена. Эта мера позволяет снизить припуск на обработку внешнего диаметра гильзы, определенный в соответствии с ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.), с 3,4 до 2,7 мм.

16.7.3. Использование асимметричных допусков в размерах отливок

В соответствии с ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) допускается асимметричное расположение допусков размеров (частично или полное), но только на необрабатываемые несопрягаемые габаритные или иные внешние размеры, за исключением толщин стенок.

Например, допуск 4 мм для размера $(200 \pm 2,0)$ мм можно расположить асимметрично по двум вариантам: (200^{+1}_{-3}) , (200^0_{-4}) мм. В первом варианте размер, соответствующий середине поля допуска и принимаемый при проектировании модельно-стержневой оснастки за номинальный, будет равен $(197 + 201)/2 = 199$ мм, во втором – $(196 + 200)/2 = 198$ мм. Проведенные расчеты показывают, что использование асимметричных допусков и, как следствие, уменьшение номинального размера, принимаемого при проектировании оснастки, позволяет экономить до 5 % металла.

16.7.4. Уменьшение систематических погрешностей

Рассмотрим возможности уменьшения систематических погрешностей в размерах отливок за счет некоторых резервов, которые можно выявить как в действующем производстве на эксплуатируемой оснастке, так и на стадии проектирования.

Определение размеров новой модельно-стержневой оснастки. Для размеров, образуемых стержнями в нагреваемой оснастке, необходимо учитывать зависимость остаточной деформации от типа связующего и параметров процесса. С этой целью можно использовать следующие уравнения:

$$l_m = l_o + \Delta l_d - \Delta l_k, \quad (16.10)$$

$$l_m = l_o[1 + (\varepsilon l_{cp} - \varepsilon_{ост})100] - \Delta l_k, \quad (16.11)$$

где l_m и l_o – соответственно размеры оснастки и отливки; Δl_d – припуск на усадку, определяемый по экспериментальным данным; Δl_k – толщина

слоя краски; $\varepsilon l_{\text{ср}}$ – средняя статистическая усадка отливок (например, для отливок из серого чугуна $\varepsilon l_{\text{ср}} = 1 \%$); $\varepsilon_{\text{ост}}$ – остаточная деформация стержней, принимаемая в первом приближении равной $\varepsilon_{\text{н}}$ (деформации расширения при нагреве оснастки).

При переходе на новый технологический процесс с более высокими, по сравнению с существующими, точностными возможностями и стабилизации технологического процесса (см. подразд. 16.7.1) можно воспользоваться следующими уравнениями для определения размеров оснастки с учетом случайных погрешностей:

$$l_{\text{м}} = l_{\text{о}} + \Delta l_{\text{д}} \pm (T_{\text{о}}/2 - 3S); \quad (16.12)$$

$$l_{\text{м}} = l_{\text{о}} [1 + (\varepsilon l_{\text{ср}} - \varepsilon_{\text{ост}}) 100] \pm (T_{\text{о}}/2 - 3S), \quad (16.13)$$

где $T_{\text{о}}$ – допуски размеров отливок по чертежу или нормам точности для существующего технологического процесса; S – действительные поля рассеивания, определяемые в результате статистической обработки данных обмеров отливок. В уравнениях (16.4) и (16.5) знак «+» перед последней разностью в скобках принимается для размеров отливок, охватывающих форму (стержень), а знак «-» – для размеров отливок, охватываемых формой (стержнем).

ЛИТЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ В ОТЛИВКАХ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Причины образования дефектов в отливках так же, как и методы их предотвращения, всегда были в центре внимания специалистов – литейщиков. Большое разнообразие дефектов затрудняет установление механизма их образования, поэтому существуют различные объяснения возникновения дефектов.

Сложность технологического процесса изготовления отливок, влияние на него многих факторов и их взаимного влияния приводит к появлению литейных дефектов, число которых по разным оценкам составляет несколько десятков. Ряд литейных дефектов рассмотрен в других разделах этого учебного пособия, далее предлагается рассмотреть классификацию литейных дефектов согласно ГОСТ 19200–80, а также обобщенные литературные данные и практический опыт литейного производства по выявлению причин образования основных дефектов и их устранению.

Качество отливок формируется на всех этапах производства, начиная с проектирования отливок и их технологической разработки. Умение выбрать оптимальный сплав, разработать технологичную отливку определяют большую возможность получения качественной отливки. Особенно ответственным является этап проектирования технологического процесса. Технолог, который правильно расположил отливку в форме, сконструировал литниковую систему с холодильниками, питателями, прибылями и т. п., т. е. создал условия для направленной кристаллизации, обеспечивает получение плотного металла отливки.

Не меньшее значение для получения качественных отливок имеют правильно выбранные параметры технологического процесса: температура и скорость заливаемого металла, составы формовочных и стержневых смесей, режим термической обработки и т. д. Отсутствие дефектов в отливках во многом зависит от самих производственников: формовщиков, стерженщиков, плавильщиков, заливщиков и мастеров, которые руководят участками литейного цеха. От их умения, опыта, четкого выполнения технологической дисциплины зависит качество отливок. Оптимально разработанная технология и ее безупречное выполнение могут иметь успех только при использовании стабильных и качественных исходных материалов (металл, формовочные пески, связующие и др.).

Повышение требований потребителей к качеству отливок по составу, структуре должно быть неразрывно связано с аналогичным измене-

нием требований к исходным материалам. Особая требовательность должна предъявляться к материалам металлозавалки – чугуну, ферросплавам, металлическому лому и т. д., которые в первую очередь определяют материал отливки. Практикой установлено, что традиционный контроль шихтовых материалов по содержанию углерода, кремния, марганца, серы и фосфора недостаточен. Не только эти элементы определяют качество будущей отливки. Во многих случаях необходимо контролировать содержание кислорода, азота, водорода, теллура, селена, сурьмы и других микропримесей, которые оказывают большое влияние на структурообразование отливок. То же самое относится и к контролю формовочных и стержневых смесей. Полный и комплексный контроль всего процесса получения отливки, начиная с ее проектирования и кончая финишными операциями, тщательный анализ возникающих дефектов и причин, их порождающих, – главное условие резкого снижения брака отливок и повышения их качества.

17.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ

По классификации ГОСТ 19200–80 все литейные дефекты разделены на пять групп:

- 1) несоответствие по геометрии – 14 дефектов;
- 2) дефекты поверхности – 13 дефектов;
- 3) несплошности в теле отливки – 16 дефектов;
- 4) включения – 3 дефекта;
- 5) несоответствие по структуре – 4 дефекта.

17.1.1. Первая группа дефектов – несоответствие по геометрии

1. **Недолив** – дефект в виде неполного образования отливки вследствие незападения полости литейной формы металлом при заливке (рис. 17.1).



Рис. 17.1 Недолив в результате недостаточной жидкотекучести (холодный металл)

Дефекты этого типа расположены обычно в наиболее удаленных от питателя частях отливки и характерны для тонкостенных отливок сложной конфигурации. Они образуются при заливке металла с недостаточной жидкотекучестью.

Жидкотекучесть. Жидкотекучесть определяет способность расплавленного металла заполнять и точно воспроизводить полость литейной формы. Она не является чисто физическим свойством и в большой мере зависит от физико-химических свойств металла и формы. Некоторые железоуглеродистые сплавы имеют настолько низкую жидкотекучесть, что иногда ею определяется возможность получения конкретной отливки. Принято считать металл жидкотекучим не только тогда, когда он находится в подвижном состоянии, но и во время его кристаллизации.

Течение металла продолжается до тех пор, пока его температура не достигнет так называемой температуры нулевой жидкотекучести. Исследования А. А. Бочвара показали, что вещество в температурном интервале кристаллизации может быть в двух состояниях – жидкотвердом и твердожидком. В жидкотвердом состоянии кристаллизующаяся система имеет определенную подвижность, не зависящую от количества содержащихся в ней твердых кристаллов. Под действием силы тяжести металл, находящийся в таком состоянии, принимает форму сосуда, в котором он находится. В твердожидком состоянии металл подобен твердому телу, т. е. не изменяет свою форму. Форма металла может изменяться только в результате объемной и линейной усадок в соответствии с коэффициентом теплового расширения металла или в результате фазовых превращений. Точное значение температуры нулевой жидкотекучести зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются состав сплава, металлостатический напор, толщина стенки отливки и др. Жидкотекучесть металла во время его кристаллизации, т. е. в интервале от температуры ликвидуса до температуры нулевой жидкотекучести, очень мала. Поэтому в таком интервале заполнение металлом, особенно сталью и доэвтекктическим чугуном, практически невозможно. Это связано с исключительно широко разветвленными первичными кристаллами аустенита. Даже незначительное количество взаимно переплетенных *аустенитных кристаллов* (примерно 10–15 %) настолько снижает жидкотекучесть, что сплав приобретает свойства нетекучего твердого тела. Эвтекктический чугун обладает значительно большей подвижностью при кристаллизации. Кристаллизация аустенито-графитовой (аустенито-цементитной) *эвтектики* сопровождается образованием компактной твердой фазы, значительно меньше отражающейся на подвижности сплава, чем первичный аустенит. Состояние нулевой жидко-

текучести наблюдается при содержании в объеме металла 35–40 % эвтектичных кристаллов.

В производстве перед заливкой металл перегревают для того, чтобы, будучи залитым в форму, он имел температуру выше линии ликвидуса. Подвижность такого металла обеспечивает заполнение формы. На рис. 17.2 показано влияние состава железоуглеродистых сплавов на жидкотекучесть.

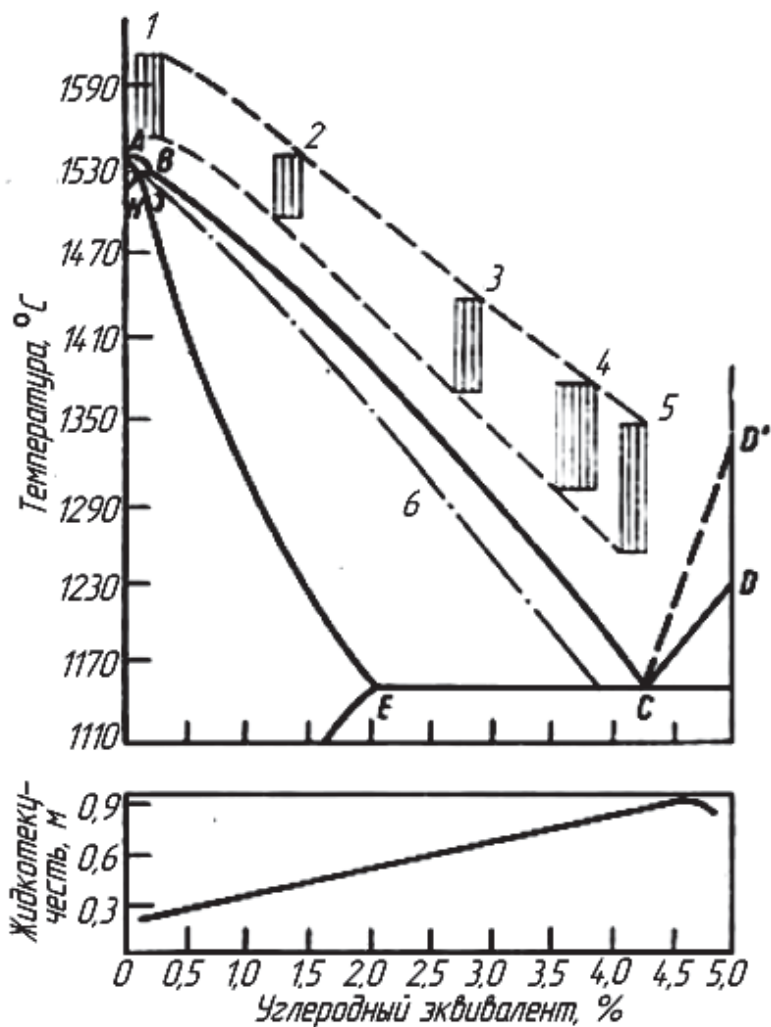


Рис. 17.2. Влияние состава железоуглеродистых сплавов на их жидкотекучесть и рекомендуемые температуры заливки сплавов: 1 — углеродистая сталь; 2 — графитизированная сталь; 3 — ковкий чугун; 4 — модифицированный серый чугун; 5 — серый чугун; 6 — нулевая жидкотекучесть

Линия A–B–C — линия ликвидуса, линия A–H–J–E–C — линия солидуса. Двумя штриховыми линиями показаны рекомендуемые температуры заливаемых сплавов. Как видно из рисунка, жидкотекучесть железоуглеродистых сплавов увеличивается с возрастанием углеродного эк-

вивалента до $C_{\text{ЭКВ}} = 4,7 \div 4,8$. Отсюда следует, что черные металлы в зависимости от их состава имеют большую или меньшую склонность к образованию дефектов при недоливах. Это необходимо иметь в виду во время конструирования отливок. Если конструктор спроектировал сложную стальную отливку тонкостенной, то можно ожидать брак по недоливу. В процессе изготовления той же отливки из *ковкого* или *магниевого* чугунов с механическими свойствами, близкими к свойствам стали, этот дефект можно *устранить или свести к минимуму*. Многолетний производственный опыт показывает, что процент брака по недоливу отливок со средней массой 1–2 кг и толщиной стенок 3–5 мм в случае использования ковкого чугуна КЧ 33–8 составляет 0,2–0,5 %, стали 10Л до 30Л ≈ 40 %. На рис. 17.2 видно, что наибольшей жидкотекучестью обладают чугуны с высоким значением углеродного эквивалента, у них также шире рекомендуемый температурный диапазон заливки. *Повышение температуры заливки увеличивает жидкотекучесть* всех сплавов (рис. 17.3).

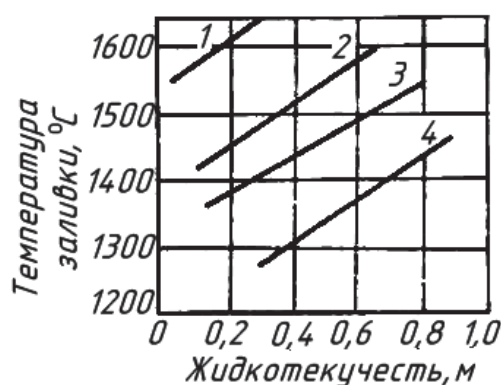


Рис. 17.3. Влияние температуры заливки на жидкотекучесть стали и чугуна:
1 — сталь; 2 — графитизированная сталь; 3 — ковкий чугун; 4 — серый чугун

Из этого следует, что для улучшения заполняемости формы следует увеличивать температуру заливаемого сплава. К сожалению, использование такого приема не всегда возможно, так как оно сопряжено со многими техническими и организационными трудностями. Например, сталь заливают при высокой температуре, что требует изготовления формы из высокоогнеупорных материалов. В противном случае, возможен брак по химическому и механическому пригару, увеличивается склонность к образованию в отливках усадочных и газовых раковин и др. Не меньшее значение имеют организационные трудности. Так, если принять решение заливать какую-то отливку металлом с температурой выше обычной для цеха, то будет необходимо организовать достав-

ку новых материалов для форм и стержней, перепроектировать литниковую систему и выполнить другие мероприятия. Неудобства, возникающие от таких частных решений, в массовом производстве очевидны.

Если требуется изготавливать небольшие тонкостенные стальные отливки со сложной конфигурацией, то применяют *литье по выплавляемым моделям*. В этом случае высокая температура формы компенсирует малую жидкотекучесть стали.

Определенное влияние на жидкотекучесть оказывает содержание кремния и фосфора в железоуглеродистых сплавах (рис. 17.4).

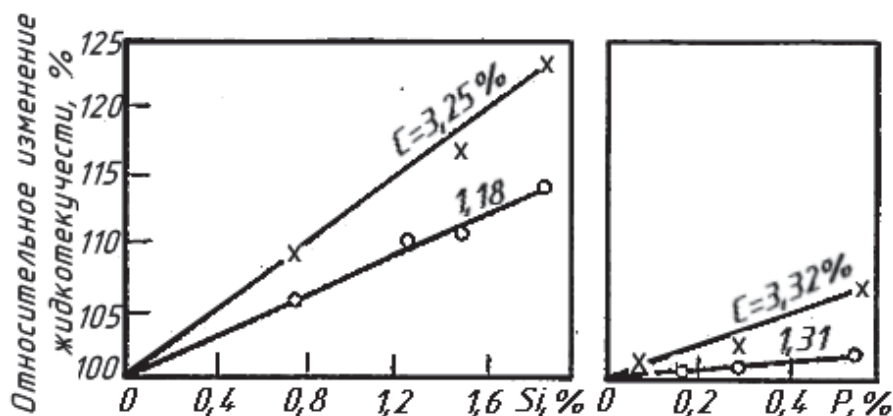


Рис. 17.4. Влияние кремния и фосфора на жидкотекучесть чугуна и стали

Особенно это проявляется при заливке чугуна. Кремний и фосфор смещают положение точек *C* и *E* диаграммы состояния Fe – C влево в область пониженной концентрации углерода, отчего *увеличивается углеродный эквивалент*. Влияние этих элементов с достаточной для практики точностью можно определить по уравнению $C_{\text{экв}} = C + 0,3\text{Si} + 0,5\text{P}$. Фосфор образует *низкоплавкие фосфидные эвтектики* (Fe + Fe₃P) и (Fe + Fe₃P + Fe₃C), с появлением которых линия нулевой жидкотекучести смещается в область пониженных температур. Таким образом, увеличивается температурный интервал, в котором металл имеет жидкотекучесть, достаточную для заполнения полости литейной формы.

Присутствие газов в металле также снижает жидкотекучесть. Это связано, прежде всего, с образованием *оксидов и нитридов*, которые повышают вязкость чугуна и стали. На жидкотекучесть влияют факторы, связанные с *процессом заливки жидкого металла* и с конструкцией *литейной формы*. В литейных ковшах барабанного типа вместимостью 0,8–1,5 т температура жидкого металла понижается в среднем со скоростью 3–5 °C в минуту, а в открытых ковшах такой же вместимости – 4–5 °C в минуту. Значительно быстрее остывает металл в ковшах вместимостью до 500 кг, в которых скорость остывания со-

ставляет 15–25 °С в минуту. Приведенные данные соответствуют подогретым ковшам. В холодных или недостаточно подогретых ковшах скорость охлаждения металла увеличивается на 30 % и более. Перед заливкой ковш необходимо нагреть до светло-красного цвета.

Неметаллические включения типа Al_2O_3 , SiO_2 и др. несколько снижают жидкотекучесть металла (рис. 17.5).

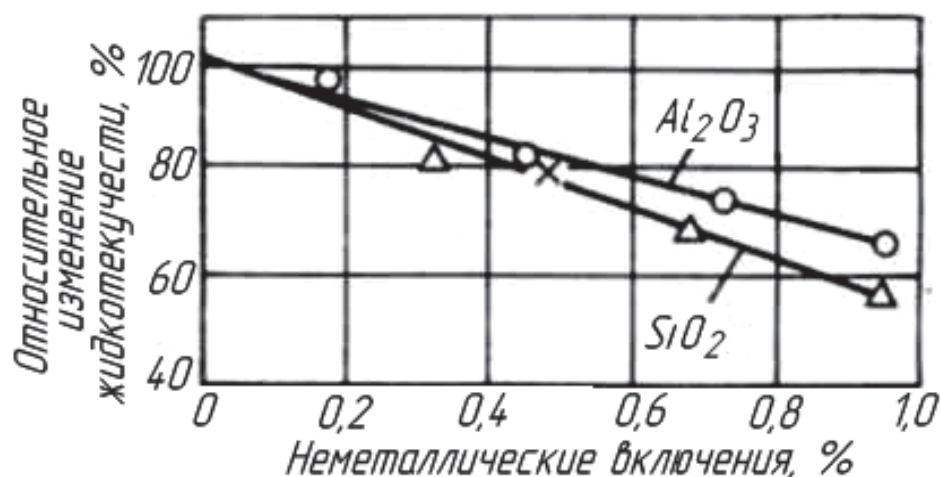


Рис. 17.5. Влияние содержания Al_2O_3 и SiO_2 на жидкотекучесть белого чугуна

На жидкотекучесть влияет состав смеси *формы*, ее теплопроводность и шероховатость поверхности, по которой течет металл (рис. 17.6).

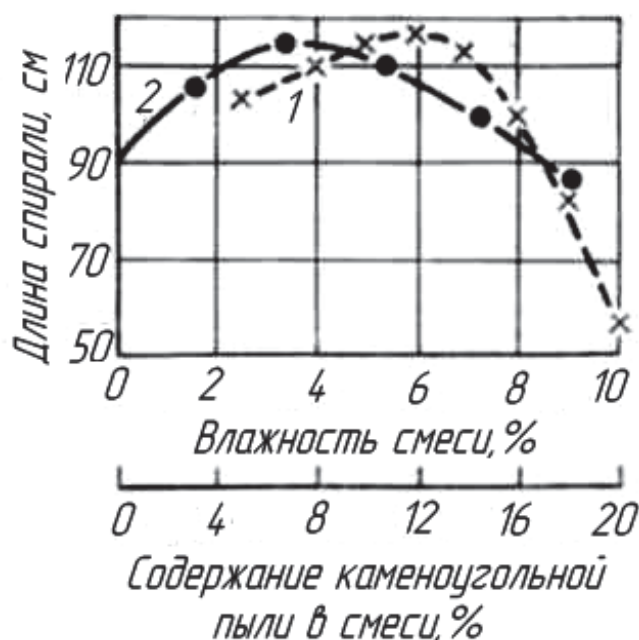


Рис. 17.6. Влияние влажности смеси и содержания каменноугольной пыли в ней на жидкотекучесть белого чугуна: 1 — влажность смеси; 2 — содержание каменноугольной пыли в смеси

Жидкотекучесть *улучшается при гладкой поверхности литейной формы и уменьшении ее теплопроводности*. Высокая влажность смеси (6–7 %) снижает жидкотекучесть. Считается, что интенсивное парообразование затрудняет движение жидкого металла.

Добавка угольного порошка или искусственных углеродосодержащих веществ повышает жидкотекучесть. Это объясняется плакированием зерен кварца пиролитическим углеродом, уменьшающим трение между формой и текущим металлом. Жидкотекучесть изменяется при нанесении на форму специальных покрытий. Ниже приведены значения жидкотекучести доэвтектического белого чугуна в зависимости от вида покрытия формы, состоящей из кварцевого песка с диаметром зерен 0,16 мм, 2,5 % натриевого бентонита, 2,5 % кальциевого бентонита и 2–3 % воды (табл. 17.1).

Таблица 17.1.

Влиянию покрытия формы на жидкотекучесть

Рабочая поверхность формы	Жидкотекучесть, %
Состояние рабочей поверхности формы	
сырое	100
сухое	118
Ацетиленовая копоть толщиной, мм	
0,1	178
0,22	152
Печная сажа толщиной, мм:	
0,17	144
0,7	104
Противопригарная графитовая краска	106
Толстый слой гексахлорэтана со слюдой	216
Слой жидкого стекла	110
Смесь ацетиленовой копоти с жидким стеклом	64

Недостаточная вентиляция формы ухудшает жидкотекучесть, особенно при большом влагосодержании и низкой газопроницаемости формы. В этом случае в полости формы резко увеличивается давление газа, препятствующее движению металла. Заполнение полости формы значительно улучшится, если предусмотреть выход газов.

Большое значение для получения бездефектных отливок имеет *литниковая система*. Необходимо обеспечить быстрое заполнение формы металлом. Особенно быстро требуется заливать тонкостенные формы. Для таких отливок литниковую систему выполняют с сечением на 10–20 % больше расчетного. Если этих мер недостаточно, то прибегают к использованию клинообразных питателей (рис. 17.7), которые одновременно могут служить и прибылями.

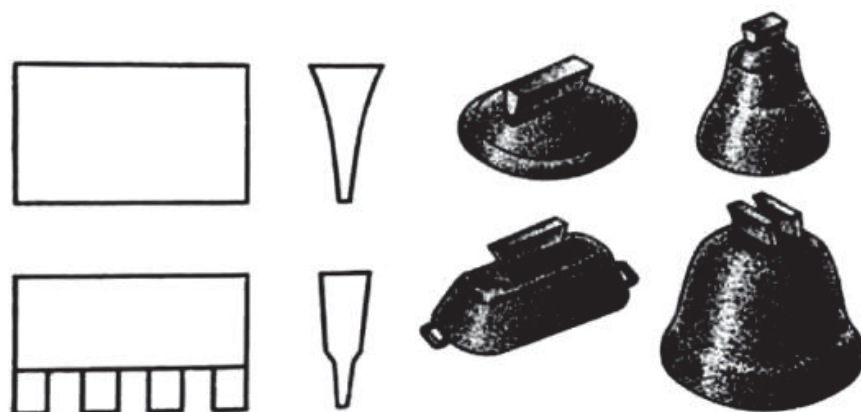


Рис. 17.7. Клинообразный питатель

Таким способом заливают ванны, котлы и тому подобные тонкостенные изделия. Для бездефектного отделения литниковой системы от отливки необходимо, чтобы сечение питателя было несколько меньше толщины стенки отливки. Недостаток указанных систем – загрязнение отливок песчаными включениями от размыва формы.

Хорошие результаты получаются при использовании боковых питателей, соединенных непосредственно со стояком (рис. 17.8). Подобный тип литниковой системы применяют для плоских тонкостенных стальных отливок.

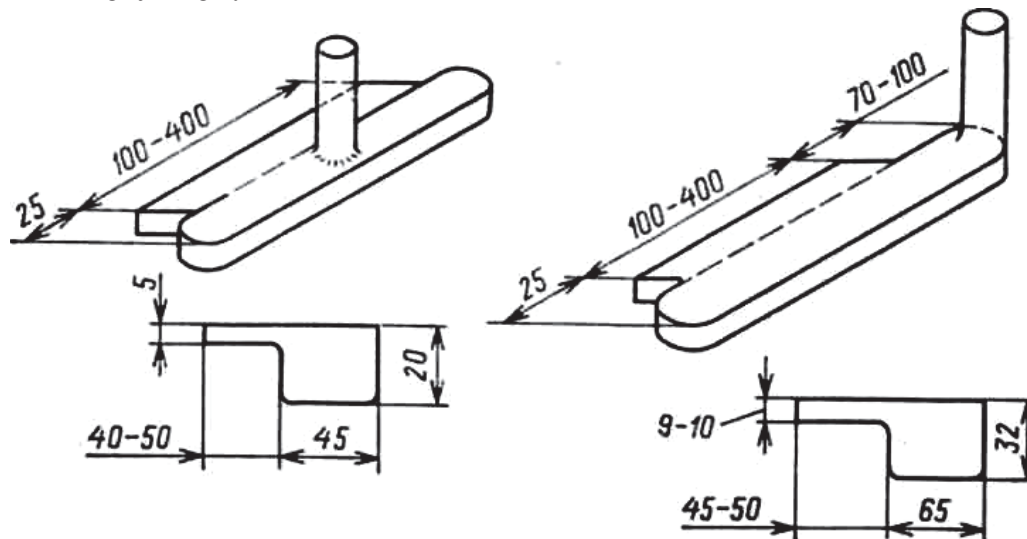


Рис 17.8. Конструкция и рекомендуемые размеры щелевидных питателей

Литниковые системы для отливки деталей из чугунов с низкой степенью эвтектичности должны иметь размеры, превышающие расчетные на 10–30 %. Для отливок из серого и модифицированного чугунов рекомендуются следующие площади сечения питателей (табл. 17.2).

Таблица 17.2

Площади питателей для отливок из серого и модифицированного чугунов

Масса отливки, т	Площадь сечения питателей, см ²
5–6	60
7–10	80
11–20	120
30–40	140–160
50–60	160–180

Недоливы получаются при медленной заливке с прерыванием струи металла. Низкоквалифицированный заливщик может допустить прерывание струи металла. Струя разбрызгивается также в случае небрежного выполнения носика у заливочного ковша. Возможны недоливы и от нетехнологичности отливки, особенно в тех случаях, когда в ней имеются тонкие стенки, к которым невозможно подвести металл.

Дефекты, подобные недоливу, получаются при избыточном припыливании сырой формы противопопригарными материалами, например графитом. Припыл намывается металлом в определенные места и вызывает подобие недолива.

Причиной недолива может быть *недостаточное количество* жидкого металла. Визуальное определение количества металла в ковше недостаточно точно. Наиболее точен метод взвешивания металла. При заливке форм массивных деталей в ковше должно быть металла на 20 % больше расчетного, чтобы компенсировать погрешности вычисления объема отливки и увеличение объема от возможного раздутия формы.

Следует отметить, что причиной недолива может быть уход металла из формы во время заливки или спустя некоторое время после заливки по следующим причинам:

- неправильное скрепление опок скобами;
- использование деформированных опок или модельных плит;
- недостаточная прочность формовочной смеси;
- недостаточная толщина формовочной смеси между полостью формы и стенкой опоки;
- низкое качество уплотнительной пасты, глиняных шнуров и других уплотнителей;
- большое сечение вентиляционных каналов и др.

Одним из главных условий, устраняющим уход металла из формы, является *правильный выбор массы* груза, устанавливаемого на форму. Расчет груза дан выше (подраздел 6.14).

Использование деформированных опок и модельных плит особенно

опасно при машинной формовке, когда уход металла может носить массовый характер. Металл может вытекать через *трещины* в форме, образующиеся в результате *ударов и деформации* формы при ее транспортировке. Заливаемые формы необходимо устанавливать на ровные плиты формовочного конвейера или на достаточно большой слой песчаной постели. Уход металла может быть связан с неисправностью крестовин опоки. Деформированные крестовины затрудняют плотную набивку смеси, и в результате металлостатического давления форма может разрушиться.

Брак по недоливу зависит от *расположения отливок* в форме. Между полостью формы и стенкой опоки должен быть определенный слой формовочной смеси (табл. 17.3). Нередки случаи вытекания металла через вентиляционные отверстия в форме или стержне. При изготовлении формы следует исключать возможность попадания металла в такие отверстия.

Для предупреждения ухода металла из формы применяют специальные пасты и пластичные шнуры.

Таблица 17.3.

Минимальные расстояния между моделью и опокой

Масса отливки, кг	Расстояние между верхней (нижней) поверхностью модели и верхней (нижней) поверхностью формы, мм	Расстояние между моделью или литниковой системой и стенкой опоки, мм
До 5	40	30
5–10	50	40
10–25	60	40
25–50	70	50
50–100	90	50
100–250	100	60
250–500	120	70
500–1000	150	90
1000–2000	200	100
2000–3000	250	125
3000–4000	275	150
4000–5000	300	175
5000–10000	350	200
Более 10000	400	250

2. Неслитина – дефект в виде произвольной формы отверстия или сквозной щели в стенке отливки, образовавшихся вследствие неслияния потоков металла пониженной жидкотекучести при заливке (рис 17.9).

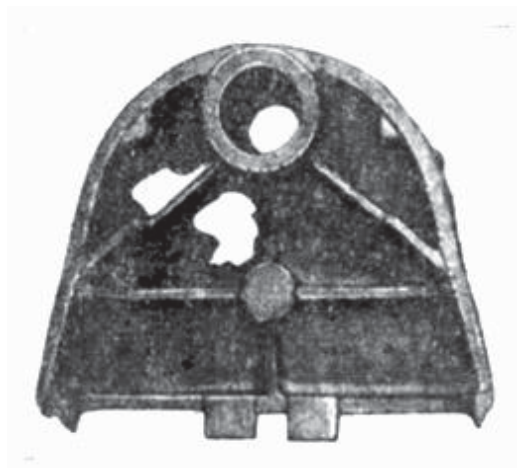


Рис. 17.9. Неслитина в результате недостаточной жидкотекучести (холодный металл)

Основная причина дефекта – недостаточная жидкотекучесть металла, описанная выше (раздел 17.1. пункт 1).

3. Обжим – дефект в виде нарушенной конфигурации отливки, возникающей вследствие деформации формы из-за механических воздействий до или во время заливки (рис. 17.10).



Рис. 17.10. Механическое повреждение формы до заливки.

4. Подутость – Дефект в виде местного утолщения отливки вследствие распираций неравномерно или недостаточно уплотненной песчаной формы заливаемым металлом (рис. 17.11.), подутость (глава 14, раздел 14.2).

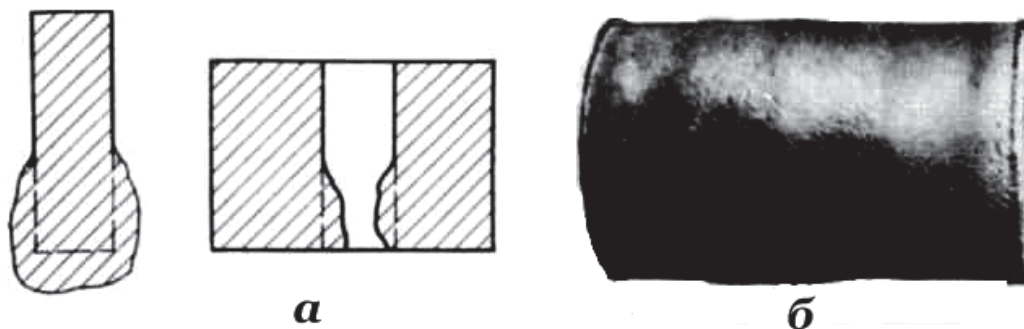


Рис. 17.11. Подутость отливки: а – схема; б – дефектная отливка

5. Перекос — дефект в виде смещения одной части отливки относительно осей или поверхностей другой части по разъему формы, модели или опок вследствие их неточной установки и фиксации при формовке и сборке (рис. 17.12.).

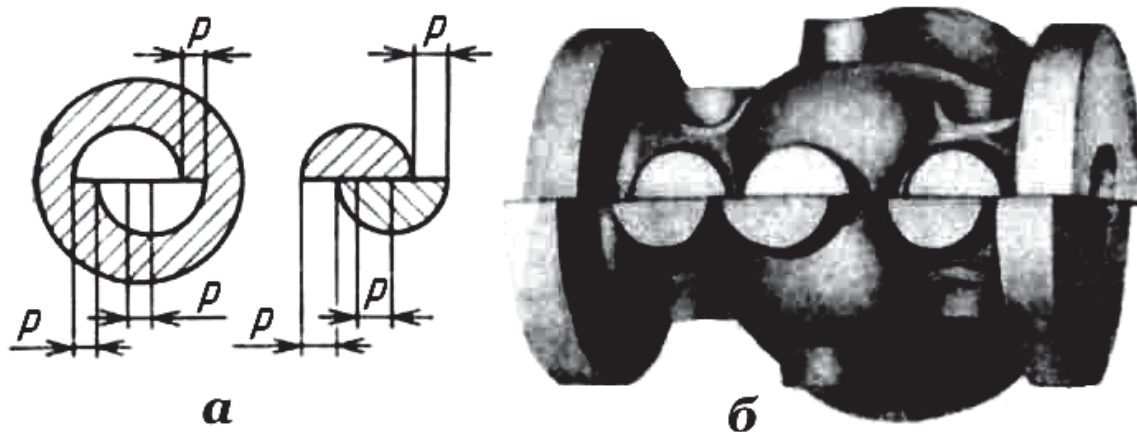


Рис. 17.12. Перекос: а – схема; б – дефектная отливка

Перекос может быть на внешней части отливки и во внутренней полости. Отливку бракуют, если перекос больше припуска на механическую обработку или превышает допустимые отклонения, оговоренные в технической документации.

Дефект виден после очистки отливки, решение о ее пригодности принимают после определения размеров перекоса.

Наиболее частыми причинами перекоса являются неисправность модельной и опочной оснастки, небрежность изготовления и сборки литейной формы. Решающее значение имеет состояние фиксирующих втулок и штырей в опоках. В связи с быстрым изнашиванием необходимо периодически проверять размеры втулок и штырей и не допускать их изменения свыше предельных отклонений от принятых допусков. Втулки и штыри должны быть выполнены из закаленной стали. Межцентровое расстояние может изменяться в результате действия внутренних напряжений в металле, из которого изготовлена опока. Рекомендуется перед окончательной обработкой опок провести их отпуск для снятия внутренних напряжений.

В некоторых литейных цехах не затягивают штыри на больших опоках при изготовлении форм на встряхивающих машинах. Пока машина отлажена, это не вызывает перекоса в отливках. Но с течением времени нивелировка машины нарушается, что приводит к постоянному перекашиванию отливок в одном и том же направлении.

Рекомендуется закреплять опоки на плите машины пневматическими зажимами (рис. 17.13).

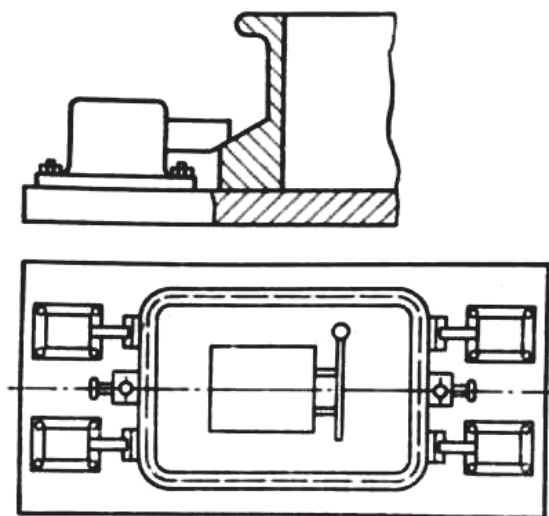


Рис. 17.13. Пневматическое закрепление опок на столе формовочной машины

В ушки опок запрессовывают центрирующие и направляющие прорезные втулки (глава 3 рис. 3.25), что позволяет удобно устанавливать опоки на модельную плиту. Штыри, с помощью которых собирают опоки, должны иметь точный диаметр и необходимую длину. Опоки с короткими штырями создают опасность перекоса.

Скрепление опок скобами и транспортировка форм на литейный конвейер проводятся при неизвлеченных контрольных штырях.

Большой перекос получается в результате неправильного изготовления модельно-стержневой оснастки или допущения ошибок при проектировании оснастки (неодинаковые базы, разные формовочные уклоны, недостаточные фиксаторы на знаках, неточность определения размеров и др.), а также вследствие неправильного хранения оснастки. Последнее часто происходит в связи с отсутствием складов для хранения оснастки.

Неправильный выбор жеребеек или их неаккуратная установка в форме приводит к перекосу. При большой массе стержня и низкой прочности формовочной смеси жеребейки могут вдавиться в нижнюю поверхность полуформы. Если стержень не зафиксирован в знаках, то он может всплывать и вдавливать жеребейки в верхнюю поверхность полуформы, особенно при сырой формовке. В этих случаях следует применять высокопрочные смеси или использовать жеребейки с большой опорной поверхностью. Если это невозможно, то следует группировать небольшие жеребейки или устанавливать их на тонкий облуженный стальной лист (рис. 17.14).

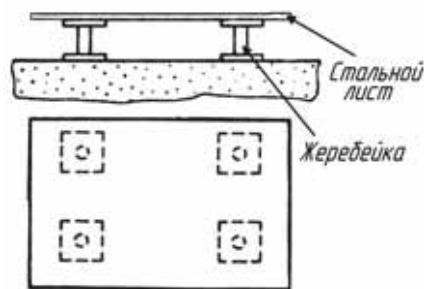


Рис. 17.14. Увеличение площади опоры для жереек с помощью стального листа

Деформация форм и стержней при их изготовлении отражается на перекосе отливок. Перекос стержня исключается, если он установлен в знаках, препятствующих его перемещению.

6. Стержневой перекос – дефект в виде смещения отверстия, полости или части отливки, выполняемых с помощью стержня, вследствие его перекоса (рис. 17.15).

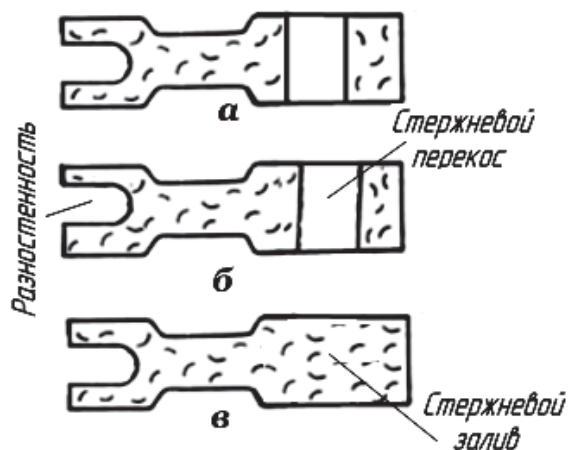


Рис. 17.15. Дефекты отливок из-за неправильной постановки стержней: а – отливка изготовлена правильно; б – отливка имеет стержневой перекос и разностенность; в – отливка имеет стержневой залив (не поставлен стержень)

7. Разностенность – дефект в виде увеличения или уменьшения толщины стенок отливки вследствие смещения, деформации или всплытия стержня (рис. 17.15, б).

8. Стержневой залив – дефект в виде залитого металлом отверстия из-за непроставленного в литейной форме стержня или его обрушения (рис. 17.15, в).

9. Коробление – дефект в виде искажения конфигурации отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении, а также в результате неправильной модели (рис. 17.16).

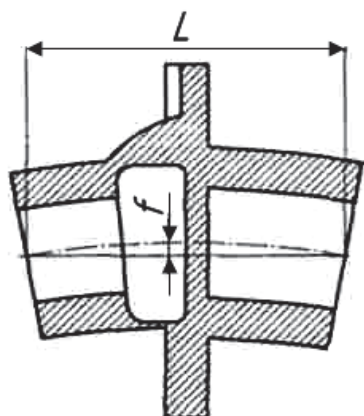


Рис. 17.16. Коробление цилиндра отливки

10. Незалив – дефект в виде несоответствия конфигурации отливки чертежу вследствие износа модели или недостаточной отделки формы (рис. 17.17).

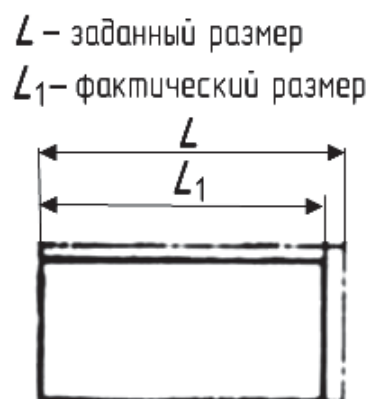


Рис. 17.17. Несоответствия конфигурации отливки чертежу вследствие износа модели

11. Зарез – дефект в виде искажения контура отливки при отрезке литников, обрубке и зачистке (рис. 17.18).

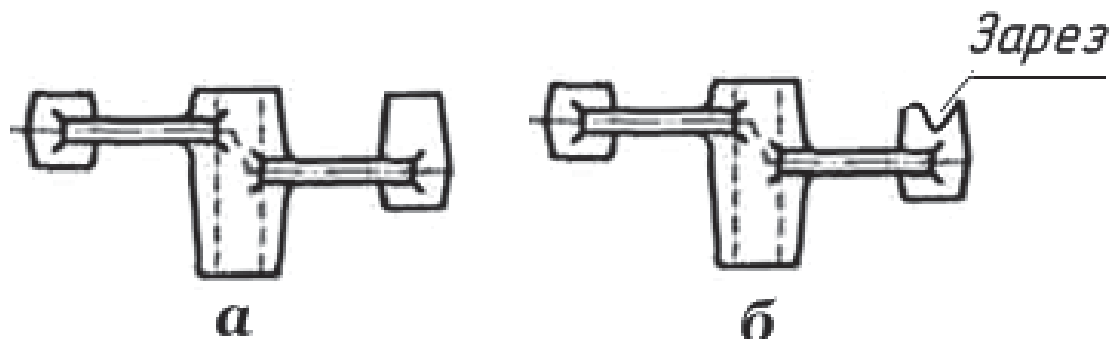


Рис. 17.18. Стальная отливка детали рычаг:
а – выполнена правильно; б – имеет дефект-зарез

12. Вылом – дефект в виде нарушения конфигурации и размера отливки при выбивке, обрубке, отбивке литников и прибылей, очистке и транспортировании (рис. 17.19).

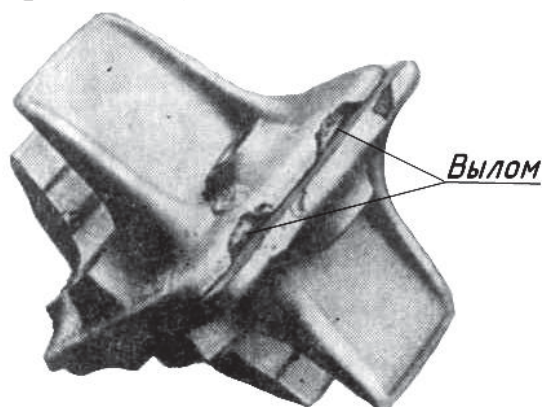


Рис. 17.19. Механическое повреждение отливки при удалении литниковой системы

13. Прорыв металла – дефект в виде неполного образования или неправильной формы отливки, возникающий при заливке вследствие недостаточной прочности формы (рис. 17.20).

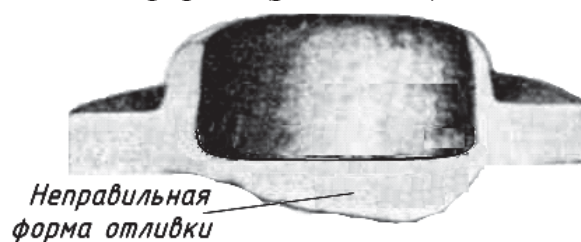


Рис. 17.20. Дефект – прорыв металла

14. Уход металла – дефект в виде пустоты в теле отливки, ограниченной тонкой коркой затвердевшего металла, образовавшейся вследствие вытекания металла из формы при слабом ее креплении рис. (17.21).

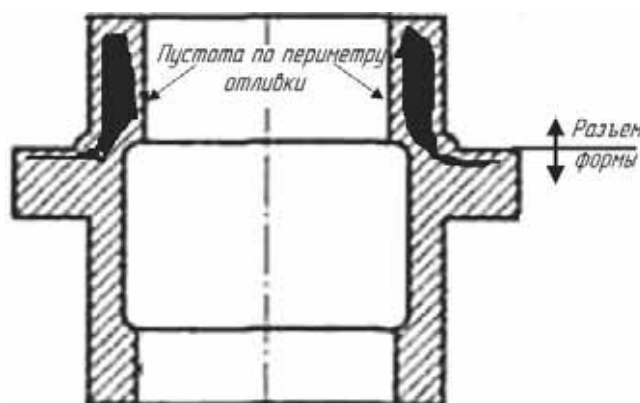


Рис. 17.21. Дефект – уход металла

17.1.2. Вторая группа дефектов – дефекты поверхности

15. Пригар (глава 14, раздел 14.5) – дефект в виде трудно отделяемого специфического слоя на поверхности отливки, образовавшегося вследствие физического и химического взаимодействия формовочного материала с металлом и его оксидами (рис 17.22).

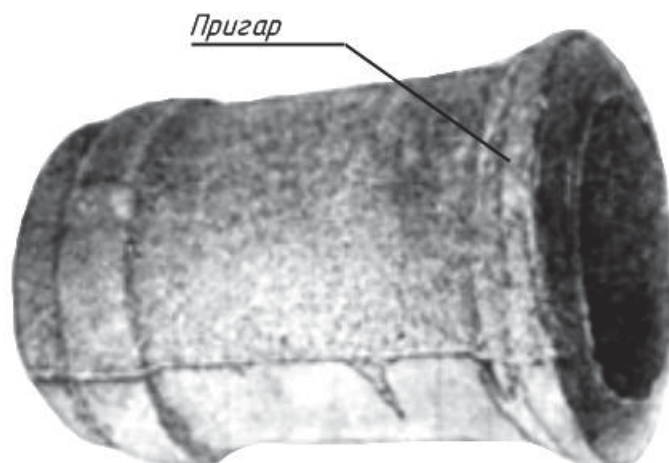


Рис. 17.22. Отливка гильзы цилиндров с пригаром

16. Спай – дефект в виде углубления с закругленными краями на поверхности отливки, образованного неполностью слившимися потоками металла с недостаточной температурой или прерванного при заливке отливки. Часто спай образуется на удаленных от питателя частях отливки, куда металл поступает окисленным и охлажденным (рис. 17.23).

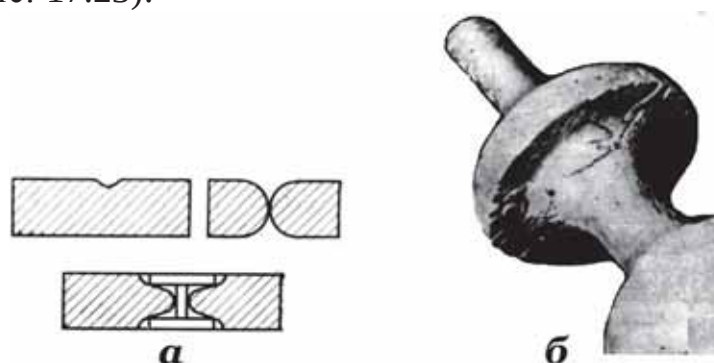


Рис. 17.23. Дефект – спай: а – схема; б – дефектная отливка

Дефекты вскрываются визуально после очистки отливки или ее механической обработки.

Спай получается при малой *жидкотекучести* сплава. Основной путь предупреждения спая – повышение температуры заливаемого металла.

Причиной спая может быть также литниковая система. Ее размеры должны быть таковы, чтобы обеспечить быструю заливку формы. Особенно высокой должна быть скорость заполнения тонких вертикальных стенок отливки.

Разделение металла на отдельные потоки (при заливке) может привести к поверхностному окислению, в результате чего эти потоки при встрече не сливаются. Установка в форме достаточного количества выпоров уменьшает давление газов в полости формы и ускоряет скорость заливки.

Если *заливку металла вести с прерывистой струей*, то спай может образоваться и на толстых стенках отливки. Причинами спая может быть наличие *металлических холодильников* или *жеребеек с окисленной поверхностью*. При изготовлении отливок, работающих под давлением, необходимо использовать чистые облуженные жеребейки. Ножка жеребейки должна быть рифленой или резьбовой. В этом случае основной металл надежно сварится с металлом жеребейки.

Если глубина спая меньше припуска на механическую обработку, то отливка считается годной.

Окисленный металл увеличивает брак по спаям. Трудно получить металл с неокисленной поверхностью, если в нем содержатся оксиды Al_2O_3 и Cr_2O_3 . Такой металл следует заливать с большой скоростью, при которой происходит механическое разрушение пленок оксида.

Дефекты от спая увеличиваются при использовании смесей с *высокой теплоаккумулирующей способностью* (хромитовые, оливиновые и др.).

Если поверхность формы покрыта толстым слоем противопригарной краски, то в процессе заливки часть слоя может отвалиться и упасть на зеркало жидкого металла. При встрече потоков эта часть формы может помешать их слиянию.

17. Ужимина (глава 14, раздел 14.4.1) – дефект в виде углубления с пологими краями, заполненного формовочным материалом и прикрытого слоем металла, образовавшегося вследствие отслоения формочной смеси при заливке (рис. 17.24).

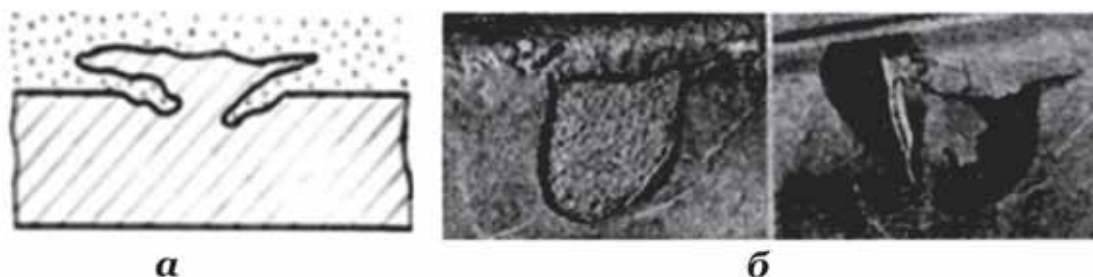


Рис. 17.24. Дефект – ужимина: а – схема; б – дефектные отливки

18. Нарост – дефект в виде выступа произвольной формы, образовавшегося из загрязненного формовочными материалами металла вследствие местного разрушения литейной формы (рис. 17.25).



Рис. 17.25. Нарост на чугунной отливке крышки подшипника

19. Залив – дефект в виде металлического прилива или выступа, возникающего вследствие проникновения жидкого металла в зазоры по разъемам формы, стержней или по стержневым знакам (рис. 17.26).

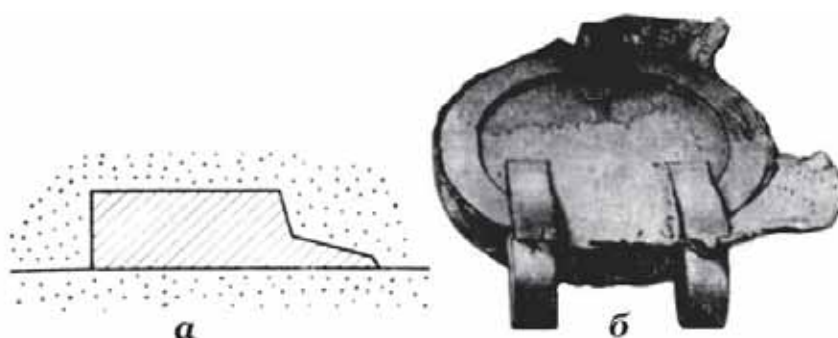


Рис. 17.26. Залив: а – схема; б – дефектная отливка

Заливы затрудняют очистку отливок, а в некоторых случаях приводят к браку. Отбив заливов может привести к трещинам в отливке.

Этот дефект обнаруживается визуально. Большие заливы получаются при сильной деформации формы в процессе ее изготовления. Частой причиной залива является недостаточное уплотнение смеси под крестовинами опок, изготавливаемых на формовочных машинах без допрессовки. Следует доуплотнить смесь в этих местах ручной или пневматической трамбовкой. При транспортировке недостаточно уплотненных форм, вследствие встряхивания или ударов, смесь в нижней форме может доуплотниться, в результате чего образуется зазор в плоскости разъема. Залив, образованный несоответствием размеров знаков и формы, показан на рис. 17.27.

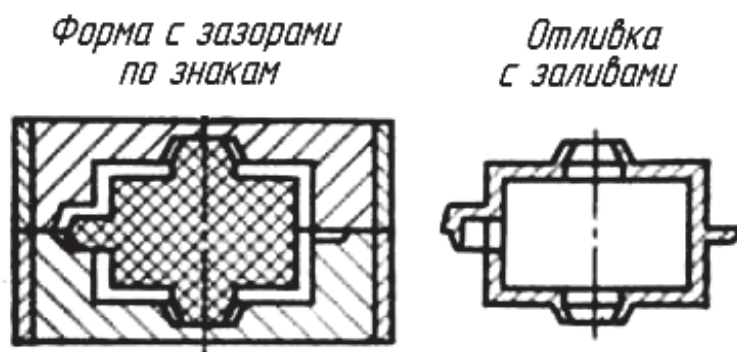


Рис. 17.27. Образование залива в зазорах между знаками формы и стержня

Часто причиной заливов является неряшливое соединение разъемных стержней. При использовании самотвердеющих смесей с низкой прочностью следует помнить, что их транспортировка (до затвердевания) приводит к доуплотнению, т. е. высота стержня уменьшается.

Толщина заливов увеличивается с ростом размеров отливки. Наименьшие заливки получаются при отливке небольших деталей в сырых, хорошо уплотненных формах. Заливы может вызвать недостаточно пластичная глина, наносимая толстым слоем на поверхность формы для предотвращения вытекания металла. Рекомендуется вместо глины применять асбестовые шнуры, пропитанные масляным связующим.

Внутренние заливки образуются при плохом соединении разборных частей стержня. Желательно иметь цельные стержни.

Заливка форм с высоким стояком увеличивает силу подъема верхней полужормы и соответственно возможность появления заливов. В этих случаях необходимо увеличить массу груза. При продолжительной выдержке форм перед заливкой необходимо проверить прочность их соединения скобами.

Заливы, получаемые из-за неисправной модельно-стержневой оснастки, небрежной работы формовщиков, стерженщиков и других причин, приведены в табл. 17.4.

Таблица 17.4

Причины образования заливов и способы их предотвращения

Группа	Основные причины	Способы предотвращения дефектов
1	Неисправная модельная оснастка	Уточнить размеры знаков модели и стержня. Исправить модельную оснастку. Соединить разборные модели с минимальным зазором, вплотную. Смонтировать модель на ровной плите

Группа	Основные причины	Способы предотвращения дефектов
2	Неисправные опоки	Очистить лад опоки от металла, смеси и др. Устранить деформацию опок. Исправить сломанные крестовины.
3	Неисправность формовочных машин	Исправить встряхивающий стол и протяжной механизм. Заменить клиновое закрепление опок на пневматическое.
4	Небрежность в изготовлении форм и в подготовке их к заливке	Очистить от смеси опоки и модельные плиты. Обеспечить плотное соединение разъемных моделей и стержневых ящиков. Предохранять формы и стержни от деформаций, возможных при транспортировке. Не допускать использования деформированных плит при изготовлении стержней. Правильно собирать и закреплять опоки. Использовать уплотнительные шнуры

20. Засор – дефект в виде формовочного материала, внедрившегося в поверхностные слои отливки, захваченного потоками жидкого металла (рис. 17.28).

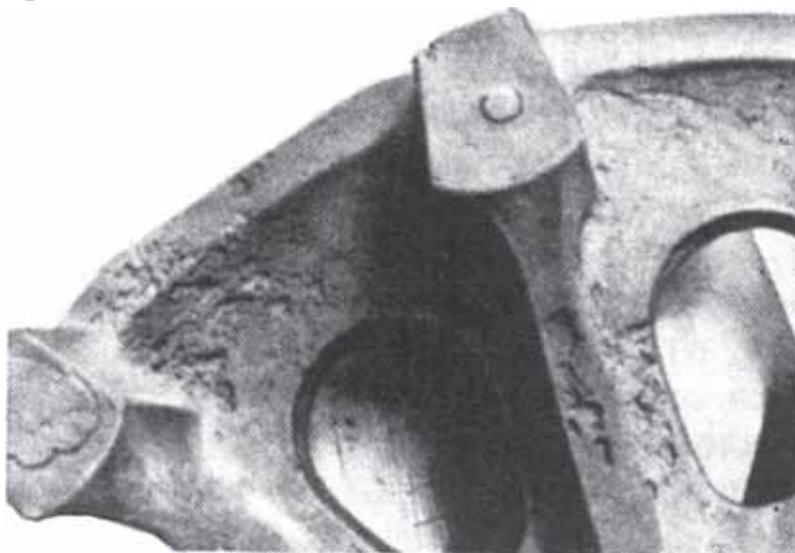


Рис. 17.28. Отливка, пораженная засорами

Образование засоров вызывают поломки стенок формы, возможные во время выемки модели и при небрежном последующем исправлении

их; поломки, допускаемые при сборке формы; местные выступающие части формы, например, в виде прямых углов; осыпающиеся частицы поверхности формы, особенно при формовке по-сырому или при пережоге форм во время сушки; продукты разрушения стенок формы потоками жидкой стали при неправильном устройстве литниковых систем, а также при образовании ужимин; формовочные материалы, попавшие в полость формы во время сборки и ожидания заливки.

Поражение отливки засорами, особенно в виде рассредоточенных включений песка, часто выявляют после проведения механической обработки, когда затрудняется исправление детали. При наличии информации о расположении скрытых пороков, например результатов рентгеновского контроля, отливка может быть исправлена или забракована еще до передачи в механообрабатывающий цех.

Потоки жидкого металла, вступающие в полость литейной формы, оказывают одновременно тепловое и механическое воздействие на ее стенки. В результате недостаточной термостойкости формовочных материалов происходит нагрев стенок формы, вызывающий объемные изменения поверхностного слоя, растрескивание стенок, осыпаемость и смывание жидким металлом частиц формы. Процесс заливки формы относительно кратковремен. Несмотря на это, указанные явления могут получить значительное развитие, особенно при формовке по-сырому, при горизонтальном расположении развитых плоских поверхностей в верхней части полости формы, при осыпаемости формовочных материалов, наблюдаемой еще до заливки.

Размывающему действию подвергается поверхность стояка, если он формируется по модели, и особенно место стыка литниковой воронки со стояком, которое уплотняют и отделявают вручную и не просушивают даже при формовке по-сухому.

Размывающее действие потоков металла, движущихся в полости формы, зависит от их скорости движения и направления. Скорость потока в устье питателя можно уменьшать в нужных пределах, увеличивая площадь поперечного сечения выходной части питателя, не отклоняясь от расчетного значения, определяемого для узкого сечения. Размывающее действие потоков особенно проявляется при заливке форм из стопорного ковша и тогда, когда питатели направляются непосредственно во встречную стенку, даже если она расположена на расстоянии 150–200 мм от устья питателя. Наиболее рациональным является подвод металла сифоном касательно к стенкам формы.

21. Плена – дефект в виде самостоятельного металлического или оксидного слоя на поверхности отливки, образовавшегося при недостаточно спокойной заливке (рис. 17.29).

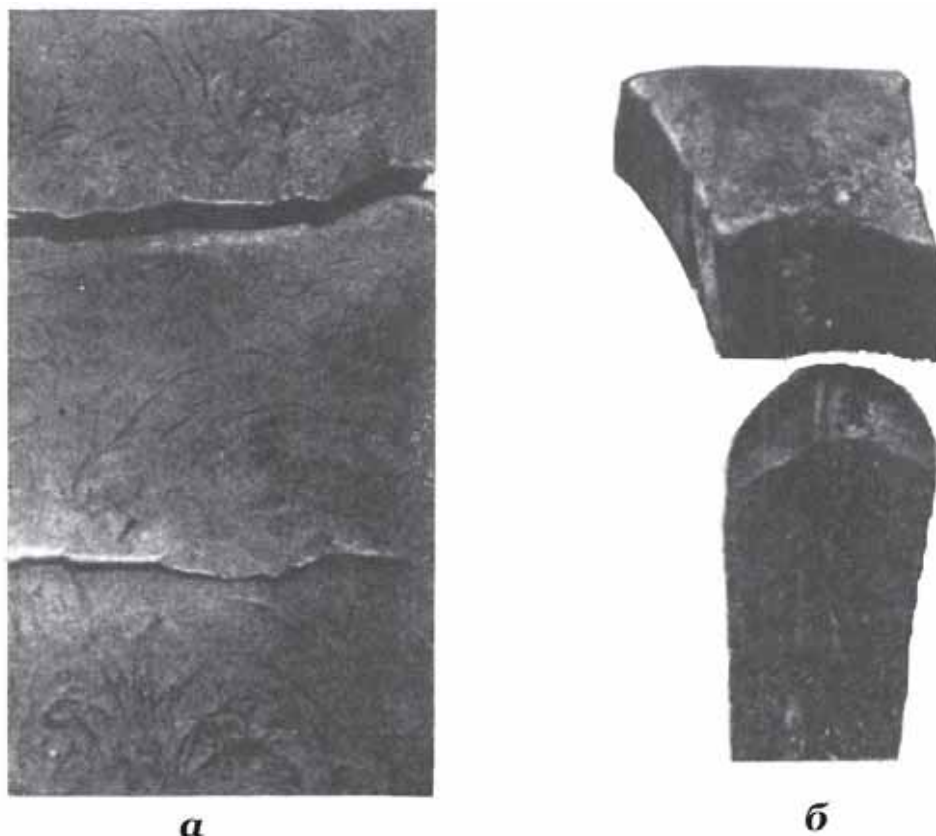


*Рис. 17.29. Части отливки, пораженные окисными пленками:
а – внешняя поверхность стенки; б – темплет поперечного сечения стенки*

Плены образуются в результате окисления элементов, содержащихся в стали и обладающих большим сродством к кислороду. Оксиды таких элементов, как хром, алюминий, титан, образующиеся в виде плотных тугоплавких взвесей, являются основными составляющими плен. Если элементы также обладают большим сродством к кислороду, но продукты их окисления выделяются в жидком состоянии, то последние легко могут коагулировать и далее всплывать и переходить либо в шлак еще до заливки форм, либо в прибыльные части. Окисление указанных элементов начинается еще в процессе выплавки стали. Поэтому жидкая сталь, поступившая на участок заливки форм, может содержать во взвешенном состоянии пленки оксидов, если соответствующими методами раскисления и выдержки перед заливкой не будет обеспечено удаление их в шлак.

Окислительные процессы продолжаются и во время заливки литейных форм. Струя металла, вытекающего из ковша, сначала контактирует с атмосферой воздуха, а далее, вступая в полость формы, попадает в газовую среду, содержание кислорода в которой уменьшается по мере заполнения сталью (табл. 17.5). По данным таблицы видно, что даже при

заливке закрытой формы, в полости которой легче удерживаются продукты возгонки и сгорания органических составляющих формовочной смеси и покрытий, содержание кислорода сохраняется довольно значительным, если к тому же учесть окисляющую способность CO_2 .

Таблица 17.5

Содержание газов в полости заливаемой формы

Тип формы	Время, считая от начала заливки, сек	Содержание газов, %		
		O_2	CO	CO_2
Открытая	10	20,2	0,0	0,0
	20	20,6	0,4	0,0
	30	20,8	0,2	0,0
	40	19,8	0,0	0,8
	50	19,2	0,0	1,2
Полузакрытая	10	18,9	0,0	1,1
	20	14,0	0,8	3,8
	30	12,4	1,0	5,2
	40	5,2	4,2	5,8
	50	5,4	—	7,0
Закрытая	5	20,3	0,4	0,0
	15	19,2	0,2	1,0
	25	6,2	1,0	10,0
	35	3,5	8,8	3,8
	45	1,9	17,8	3,8

Возможность окисления элементов, входящих в состав стали, зависит от содержания кислорода в газовой среде и упругости диссоциации оксидов этих элементов при температуре жидкого металла. Даже при заливке закрытых форм, когда содержание кислорода уменьшилось до $\sim 2\%$ (табл. 17.3), эквивалентных парциальному давлению $1 \cdot 10^{-9}$ Па, невозможно избежать вторичного окисления хрома. Это объясняется тем, что упругость диссоциаций Cr_2O_3 составляет всего $1 \cdot 10^{-9}$ Па при температуре 1500°C и $1 \cdot 10^{-7}$ Па при 1700°C . Развитие процесса вторичного окисления нельзя приостановить даже путем создания восстановительной атмосферы в полости формы, так как и при этом условии в газовой среде в течение некоторого времени сохраняется содержание кислорода, превышающего упругость диссоциации оксидов указанных элементов.

Установлено, что образование плотной пленки оксидов на зеркале жидкой стали начинается при определенной температуре, т. е. при температуре пленообразования, и далее, по мере охлаждения стали, толщина указанной пленки резко возрастает. Температура пленообразования

элементов, входящих в состав стали, зависит от содержания этих элементов (рис. 17.30).

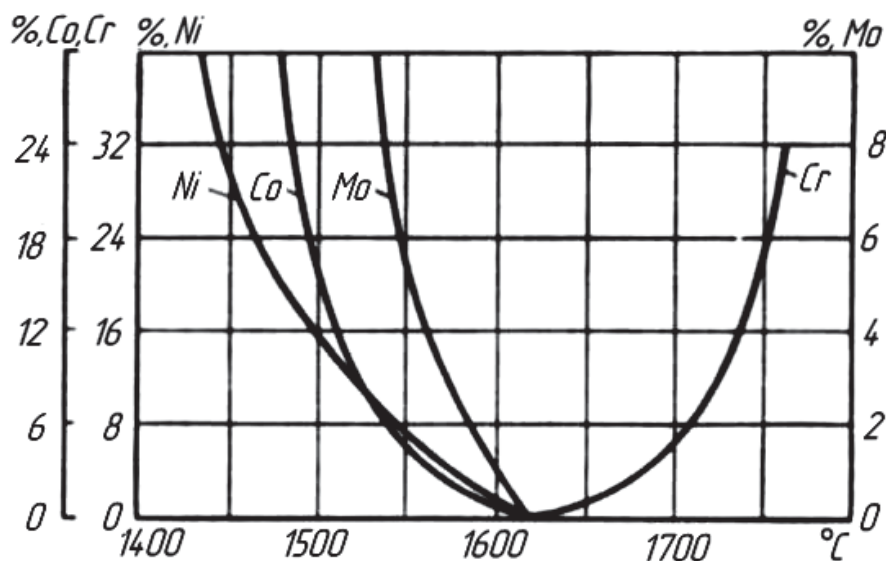


Рис. 17.30. Температура пленообразования в зависимости от содержания в стали некоторых элементов

Из графика видно, что при принятом максимальном содержании таких элементов, как Ni, Co, Mo, условия образования оксидных плен практически отсутствуют, так как сталь обычно заливают при температуре, превышающей начало интенсивного развития процесса пленообразования. Это относится также к содержанию в стали Si и Mn. По направлениям кривых, приведенных на рис. 17.30, можно в каждом случае определить температуру заливки стали принятого состава.

На рис. 17.29 приведены типичные примеры поражения оксидными пленами крупной отливки обечайки с толщиной стенок около 20 мм, изготовленной из стали, содержащей более 20 % Cr и 5 % Al. Дефекты образовались при низкой температуре стали и медленной заливке формы (скорость подъема уровня металла составляла около 10 мм/с), вызванной производственными неполадками.

При этих условиях жидкий металл непрерывно окислялся в полости формы, и вся его открытая поверхность покрывалась сплошной пленой. В начальной стадии заливки формы оксидная плен частично прижималась к стенкам формы с образованием поверхностных дефектов (см. нижнюю часть рис. 17.29, а). В дальнейшем прочность пленки возрастала и, судя по внешнему виду темплетов, вырезанных из этой же отливки, дальнейшее продвижение жидкого металла вверх стало возможным лишь сквозь местные прорывы пленки, один из которых виден в изломе металла (рис. 17.29, б). Остальная часть пленки, изогнутая под напором

металла, сохранялась в теле отливки в виде сквозного дефекта, вызвав также образование и другого порока – спая.

Известно также, что процессы образования оксидных плен происходят и при заливке углеродистой стали, но, в отличие от оксидов хрома, алюминия, титана продукты окисления элементов, входящих в состав углеродистой или низколегированной стали, жидкоподвижны и выделяются в меньшем количестве. Поэтому при изготовлении отливок из данных сталей оксидный пленки выявляются редко.

Повышение температуры жидкой стали, уменьшение продолжительности заливки форм, равно как и проведение других технологических мероприятий, значительно уменьшает возможность развития указанных окислительных процессов и образования продуктов этих реакций в виде плен оксидов.

На этом основаны следующие меры предупреждения брака по оксидным пленкам.

Повышение температуры заливки стали типа 10X13Л, 20X13Л до 1590–1610 °С, а стали типа 0X25Ю5 – до 1620–1650 °С в зависимости от толщины стенок отливок. Температуру заливки легированной стали других марок, принимают большей или по возможности близкой к температуре начала пленообразования (рис. 17.29).

Максимально возможное сокращение продолжительности заливки литейных форм, использование литниковой системы с сифонным подводом металла, в том числе с подачей металла только под затопленный уровень через верхние ряды питателей, если это вызывается условиями создания направленного затвердевания стали.

Одностороннее направление потоков металла в полости формы, применение прибылей только прямого питания, а при изготовлении крупных отливок увеличение припуска на механическую обработку мест возможного сосредоточения оксидных плен, главным образом, верхних торцовых частей стенок.

При изготовлении крупных отливок создание восстановительной атмосферы в форме, для чего поверхности форм красят обезвоженным каменноугольным лаком, применяемым для изложниц; лак лучше всего наносить на поверхность при температуре стенок формы 70–120 °С, так как при этом он равномерно распределяется и проникает на глубину до 1,5 мм.

Применение комплексного раскисления стали, например алюминием и силикокальцием, и выдержки стали в ковше перед заливкой формы.

22. Просечка – дефект в виде невысоких прожилок на поверхности отливки, возникших вследствие затекания металла в трещины на поверхности формы или стержня (рис. 17.31).

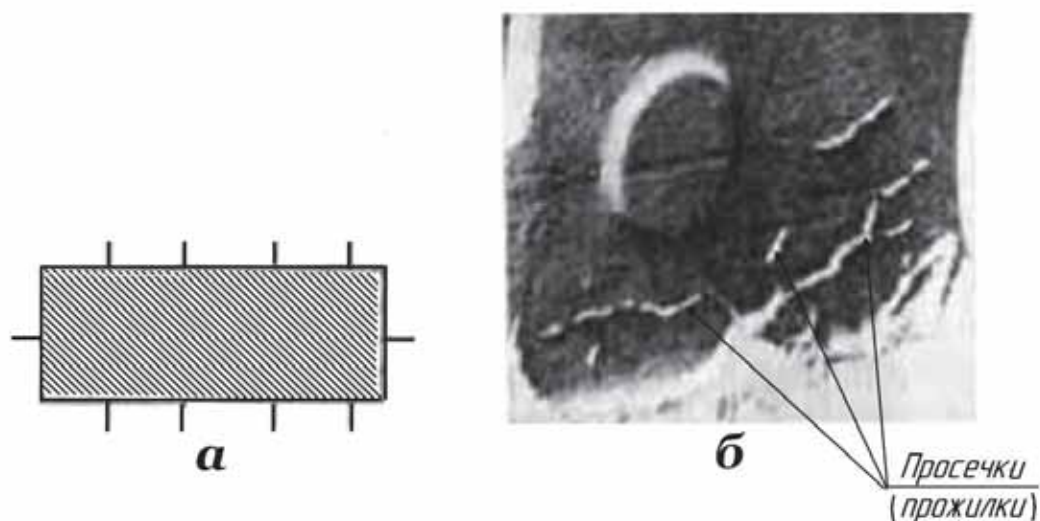


Рис. 17.31. Дефект – просечки (прожилки): а – схема; б – дефектная отливка

Просечки – тонкие выступы на поверхности отливки. Они отличаются от заливов, образованных по линии разъема отливки или в знаковых частях формы и стержня. Гребешки образуются от залива металла в трещины формы или стержня. Обнаруживаются визуально после очистки отливок. Возможны две причины образования этого дефекта: *механические причины и причины, связанные с расширением формовочной смеси.*

Просечки появляются от растрескивания литейной формы при ее изготовлении, транспортировке и заливке. Это может произойти вследствие малой жесткости опок, которые деформируются в процессе уплотнения формовочной смеси, плохо подготовленной постели под опоку, неаккуратной транспортировки формы и др. Обычно трещины, возникающие по механическим причинам, легко обнаруживаются при сборке форм и могут быть вовремя исправлены. Трещину заделывают пастой или густой противопопригарной краской.

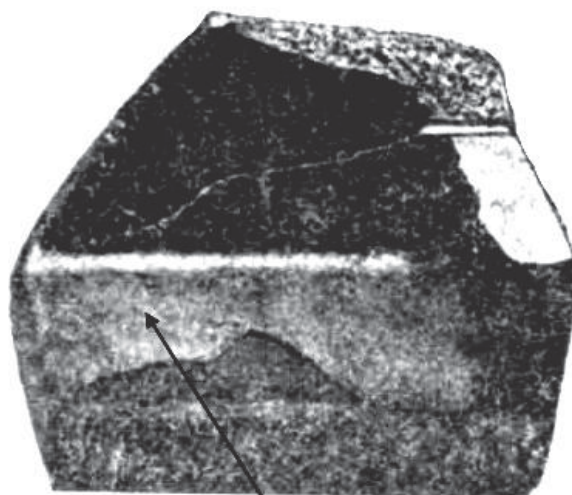
Просечки, возникающие от трещин, образующихся в результате расширения литейной формы, встречаются часто на отливках, получаемых в формах из самотвердеющих смесей с фурановыми, фенольными и другими органическими смолами. Они характерны для тепловых узлов отливки или ее толстых сечений. Просечки имеют толщину 1–2 мм и высоту до 40 мм. Главная причина появления просечек – полиморфные превращения зерен песка, а также тип и количество связующего и температура заливаемого металла. Смесей с жидким стеклом довольно устойчивы к образованию трещин.

Исследования смесей показали, что с увеличением термостойкости смол резко уменьшается образование просечек. Повышенная прочность термостойких смол при высоких температурах позволяет смеси выдерживать тепловые напряжения без ее разрушения.

Во многом образование просечек зависит от температуры заливаемого металла. Чем ниже температура, тем меньше трещин возникает в форме. Понижение температуры заливки чугуна в формы со стержнями на фурановых связующих с 1360–1380 до 1300–1320 °С позволило получить качественные отливки и снизить расходы на их очистку.

Цирконовые краски, краски из смеси графита и циркона, нанесенные толстым слоем, уменьшают образование просечек, но полностью его не предотвращают. *Эффективным средством*, предотвращающим появление просечек, является добавление в смесь *пылевидных железных оксидов*. Добавление оксидов железа увеличивает теплопроводность смеси и ускоряет затвердевание слоя металла. Это уменьшает пригар и предотвращает образование таких дефектов, как просечки.

23. Окисление – дефект в виде оксидного слоя металла с поверхности отливки, получившийся после отжига отливок из белого чугуна на ковкий чугун (рис. 17.32). Окисление представляет собой толстый оксидный слой металла на поверхности отливки (окалина), образовавшийся во время термической обработки отливок в печи с окислительной атмосферой. Корка окалина отделяется слоями. Иногда окалина плохо отделяется от отливки даже при очистке в дробеметных машинах.



Оксидный слой (окалина)

Рис. 17.32. Отливка с окалиной

Окалина видна визуально после окончания термической обработки отливок.

Главной причиной образования окалины является *сильно окислительная атмосфера* в термической печи, содержащая избыток серы или воздуха. Причиной окалинообразования является также повышение температуры, при которой проводят термическую обработку отливок.

При появлении большой окалины следует проверить механические свойства металла, так как поверхностные слои отливки могут быть сильно обезуглерожены. Это имеет большое значение для отливок, изготовленных из ковкого перлитного чугуна и стали.

24. Поверхностное повреждение – дефект в виде искажения поверхности, возникшего при выбивке отливки из формы, очистке и транспортировании (рис. 17.33).

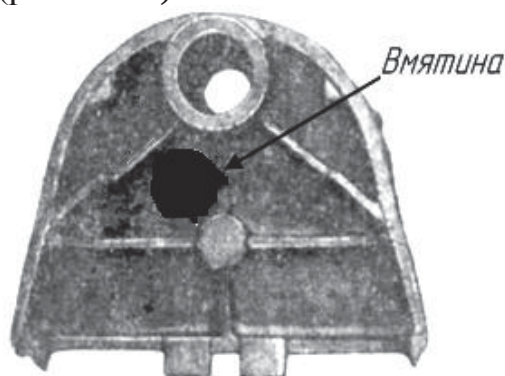


Рис. 17.33. Дефект – поверхностное повреждение (вмятина)

Вмятина получена при совместной горячей выбивке тонкостенных и массивных отливок.

25. Складчатость – дефект в виде незначительных гладких возвышений и углублений на поверхности отливки, возникающих вследствие пониженной жидкотекучести металла. Складчатость возникает обычно на отливках из чугуна (рис. 17.34).



Рис. 17.34. Складчатость на поверхности отливки нажимного диска грузового автомобиля

26. Грубая поверхность – дефект в виде шероховатости поверхности с параметрами, превышающими допустимые значения. Дефект возникает в случае применения крупнодисперсных формовочных материалов или при слабом уплотнении смеси. В первом случае он имеет сплошной, а во втором – мозаичный характер (рис. 17.35).

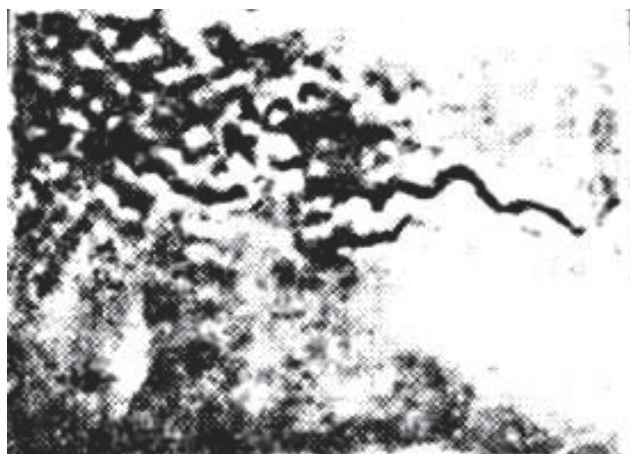


Рис. 17.35. Поверхности с параметрами, превышающими допустимые значения.

27. Газовая шероховатость – дефект в виде сферообразных углублений на поверхности отливки, возникающих вследствие роста газовых раковин на поверхности раздела металл – форма (рис. 17.36).



Рис. 17.36. Газовая шероховатость, возникшая при использовании неочищенного холодильника

17.1.3. Третья группа дефектов – несплошности в теле отливки

28. Горячая трещина – дефект в виде разрыва или надрыва тела отливки усадочного происхождения, возникшего в интервале температур затвердевания (рис. 17.37).



Рис. 17.37. Трещина в стальной отливке

Горячая трещина располагается по границам кристаллов, имеет неровную окисленную поверхность, на которой иногда видны дендриты.

Причины возникновения и меры предупреждения горячих трещин (глава 15).

29. Холодная трещина — дефект в виде разрыва тела затвердевшей отливки вследствие внутренних напряжений или механического воздействия (рис. 17.38.).

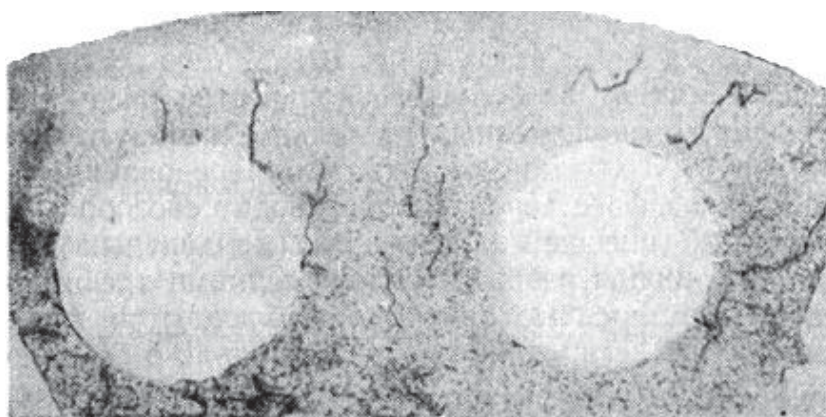


Рис. 17.38. Холодная трещины в отливке при плохой податливости стержня

Холодная трещина обычно имеет чистую светлую или с цветами побежалости зернистую поверхность.

Причины возникновения и меры предупреждения холодных трещин (глава 15).

30. Межкристаллическая трещина — дефект в виде разрыва тела отливки при охлаждении отливки в форме на границах первичных зерен аустенита в температурном интервале распада (рис. 17.39).



а



б

Рис. 17.39. Вид межкристаллических трещин в отливке из легированной термически обработанной стали: а — на шлифе после травления по Кешиену ($\times 1$); б — в изломе

Основными факторами возникновения трещин являются выделения неметаллических фаз, феррита, цементита или карбидов по границам первичных зерен аустенита, фазовые превращения стали, термические напряжения. Трещины возникают при температурах ниже температуры превращения γFe в αFe , когда внутренние напряжения становятся наибольшими. На поверхности трещин наблюдаются крупные первичные зерна аустенита. Наружные трещины имеют цвета побежалости, зависящие от температуры их появления. Внутренние трещины имеют резкий металлический блеск сглаженных поверхностей зерен. При глубоком травлении шлифов стали на их поверхности появляются границы зерен стали.

Межкристаллические трещины располагаются различно по отношению к дендритным кристаллитам в зависимости от грануляции стали. В легированных сталях без фазового превращения δFe в γFe трещины проходят по границе раздела между дендритными кристаллитами и имеют зубчатые очертания (рис 17.40, а). В стали со средним содержанием углерода, кри-

сталлизующейся сразу же в крупные зерна аустенита, трещины простираются по сглаженным поверхностям дендритных кристаллитов (рис. 17.40, б).

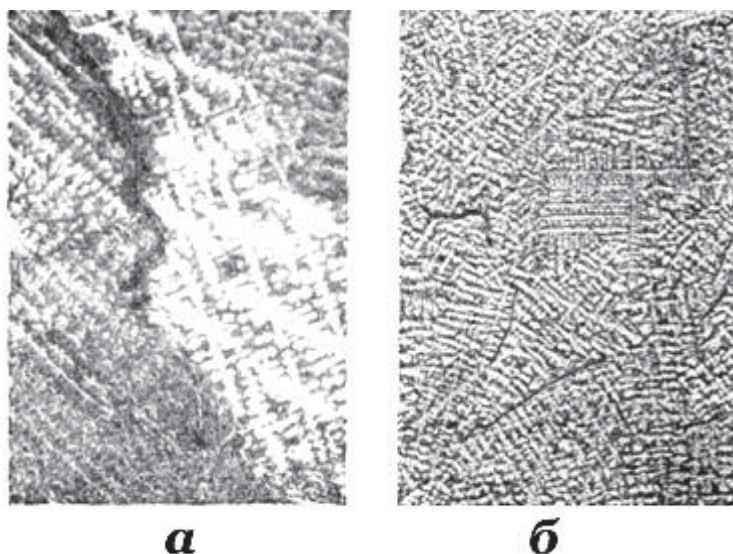


*Рис. 17.40. Трещины, располагающиеся между дендритными кристаллитами:
а – в отливке из негранулирующей стали (х 10);
б – в отливке с нечеткими границами между зерен (х 6)*

В низкоуглеродистых гранулирующихся сталях трещины располагаются между зерен аустенита без всякой ориентировки по отношению к дендритам (рис. 17.41).



Рис. 17.41. Трещины, располагающиеся между зернами грануляционной структуры, без ориентировки по отношению к дендритам (х 6).

Важным признаком межкристаллических трещин является резкий металлический блеск их поверхностей на сером фоне излома термически обработанной стали. Примером этому может служить рис. 17.42, на кото-

ром в центральной части излома видны блестящие участки – трещины, а далее, ближе к краям отливки, поверхности первичных зерен аустенита. Таким образом, здесь наблюдается сочетание внутренних трещин с шестоватостью излома, которое прямо указывает на связь этих видов неоднородности отливок.

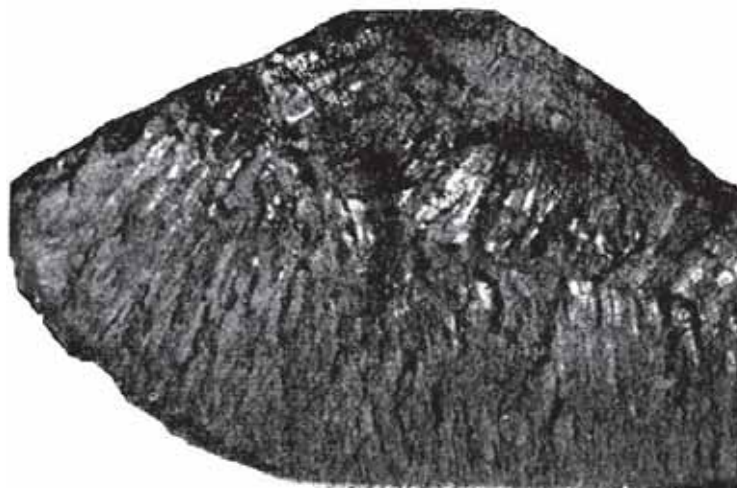


Рис. 17.42. Излом отливки, вскрывший мелкие межкристаллические трещины в центре и шестоватость по краям (x 1)

Рассмотрение излома при увеличении свидетельствует о том, что блестящие участки расположены в определенном порядке на тускло-серых поверхностях зерен стали (рис. 17.43).



Рис. 17.43. Мелкие и округлые блестящие трещины на поверхностях кристаллов (x 12)

В сущности, блестящие участки излома состоят из большого количества очень мелких по величине трещин, расположенных отдельно и

округлых по очертаниям. На рис. 17.44 видны разрывы между мелкими трещинами.

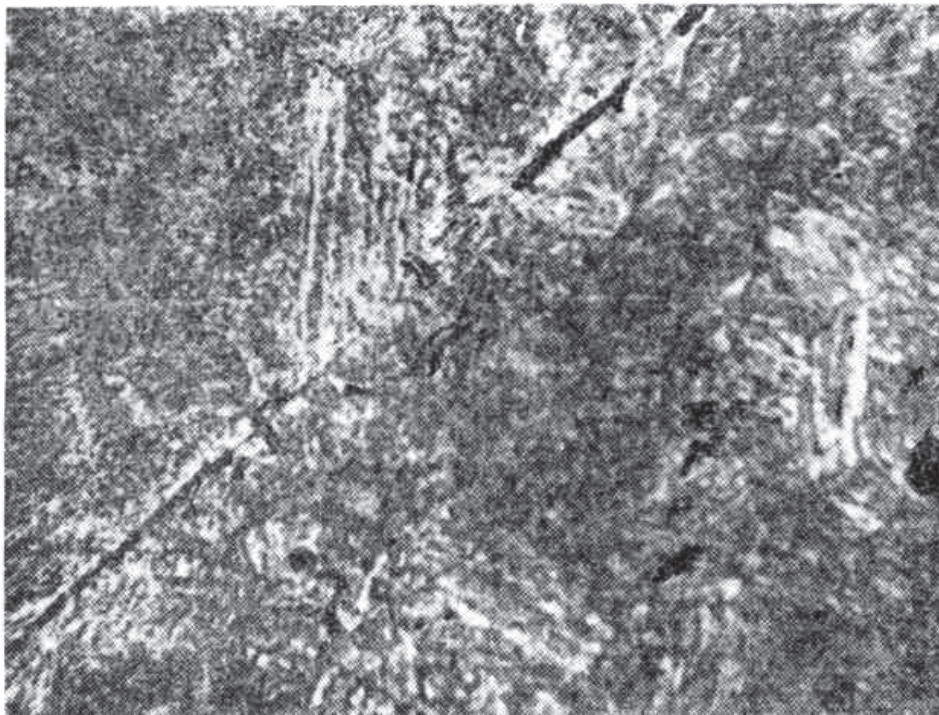


Рис. 17.44. Прерывистые мелкие трещины на микрошлифе стали, выявляющиеся после травления 4 %-ным раствором азотной кислоты в спирте (x 600)

Внутренние межкристаллические трещины наблюдаются главным образом в отливках из легированной стали и только в редких случаях их обнаруживают в отливках из углеродистых сталей. Местом возникновения трещин являются центральные части массивных узлов отливок, особенно расположенные под прибылями.

Причины внутренних межкристаллических трещин. Как уже было указано ранее, причиной такого рода трещин являются выделения по границам первичных зерен аустенита избыточных фаз, в частности неметаллических включений, имеющих предельную растворимость в аустените. К этому роду неметаллических включений относятся сульфиды и нитрид алюминия, ослабляющие сопротивление стали внутренним напряжениям.

Характерным признаком межкристаллических трещин является то, что при металлографическом исследовании соответствующих образцов стали эти включения обнаруживаются в виде бус или непрерывных выделений по границам крупных исходных зерен стали. Нередко трещины на своих концах имеют округлые включения, расположенные в виде цепочек (рис. 17.45).



Рис. 17.45. Внутренние трещины, заканчивающиеся цепочкообразными включениями

Если межкристаллические трещины образуются под воздействием водорода, растворенного в стали, то они в изломе термически обработанной пробы (отливки) имеют вид сглаженных поверхностей с зеркальным блеском на общем сером фоне, волокнистой составляющей излома. Основные факторы возникновения трещин являются, повышенное содержание водорода в стали, внутренние напряжения, вызванные структурными превращениями и разным временем появления по объему отливки термической усадки. Трещины возникают при температурах в конце охлаждения отливки (рис. 17.46).



Рис. 17.46. Вид поверхности внутренней трещины – флокена в литой стали (x 6)

Причины образования трещин и меры по их предупреждению.

Во всех случаях появления трещин, расположенных целиком или частично по границам первичных зерен аустенита, возникает вопрос об основной причине их образования. Для установления роли неметаллических включений в стали необходимо образцы из отливок с трещинами подвергнуть макро- и микроисследованию и проанализировать излом. Излом образцов необходимо производить после закалки и высокого отпуска (при 600–650 °С). Выделение неметаллических включений по границам исходных первичных зерен аустенита обнаруживается в межкристаллическом разрушении стали (рис. 17.47, *а*).

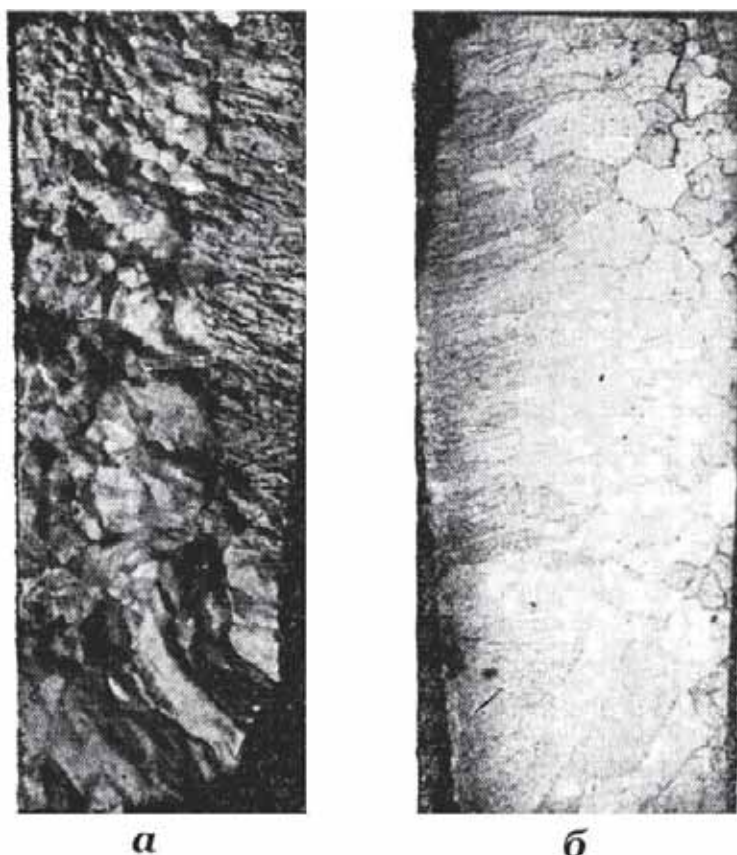


Рис. 17.47. Излом (а) и макрошлиф (б) отливки с трещиной (x 0,5)

Если же включения на границах зерен отсутствуют, то излом стали окажется вязким (рис. 17.48, *а*).

Присутствие неметаллической фазы на границах зерен аустенита подтверждается глубоким травлением шлифов стали в реактиве Кешиена или в горячем водном растворе серной и соляной кислот. Неудовлетворительное качество стали в связи с трещинами обнаруживается усиленной травимостью границ зерен (рис. 17.47, *б*). На шлифах стали без дефектов границы зерен в тех же условиях не вытравляются (рис. 17.48, *б*).



Рис. 17.48. Излом (а) и макрошлиф (б) отливки без трещин (x 0,5)

Наконец, при тщательном исследовании микрошлифов стали из образцов с межкристаллическим изломом под микроскопом обнаруживаются неметаллические включения, расположенные по границам зерен. В стали из отливок с трещинами, возникших по причинам, не связанным с ее качеством, непрерывных сеток или неметаллических включений в виде бус не наблюдается. Распознавание природы неметаллических фаз, по причине которых возникли трещины, требует применения специальных методов исследования.

Проведенные исследования показали, что внутренние и наружные трещины возникают под влиянием межкристаллических включений, способных выделяться на поверхностях первичных зерен аустенита. К этим включениям относятся сульфиды и нитрид алюминия. Склонность стали к трещинам вызывают также феррит или цементит, появляющиеся на границах зерен во время распада аустенита.

Неметаллические прослойки на поверхностях зерен аустенита являются причиной межкристаллического излома отливок, а в случае воз-

никновения внутренних напряжений, превышающих сопротивление стали отрыву, эти прослойки способствуют возникновению трещин.

Вид трещин, их расположение в отливках зависят от условий возникновения напряжений и от распределения неметаллических включений в структуре стали.

Из анализа причин возникновения межкристаллических трещин следуют меры их предупреждения. В первую очередь необходимо при выплавке стали снижать в ней содержание веществ, способных выделяться по границам зерен аустенита, т. е. сульфидов и нитрида алюминия. Затем, в случае склонности стали к трещинам, ее следует разливать при умеренной температуре. Разливка чрезмерно горячей стали ведет к укрупнению первичных зерен аустенита и к повышению внутренних напряжений.

Наконец, наиболее радикальной мерой предупреждения межкристаллических трещин является уменьшение внутренних напряжений в отливке. Достаточная по времени выдержка их в опоках может полностью предупредить межкристаллические трещины даже в том случае, когда сталь неудовлетворительна по качеству и склонна к образованию грануляционной структуры.

Процессы производства стали оказывают влияние на макроструктуру отливок, их механические свойства и на такие пороки стали (особенно высокопрочной), как межкристаллический излом, внутренние и наружные трещины. Исследования в лабораторных и производственных условиях позволили установить влияние вредных примесей в стали и температурных условий ее разливки на качество отливок. Качество литой легированной стали во многих случаях определяется неметаллическими включениями, растворимыми в аустените и способными выделяться по границам зерен во время охлаждения отливок.

В сталях, используемых для литья, пленочные неметаллические включения в основном состоят из сульфидов железа, марганца и легирующих элементов или из нитрида алюминия. Процессы образования сульфидных включений связаны с довольно значительной растворимостью серы в аустените. При низком содержании марганца происходит распад аустенита с выделением жидкой фазы, обогащенной серой, которая при завершении кристаллизации превращается в сульфидные включения.

Избыточная жидкая фаза обладает низкой межфазной энергией на границах раздела с аустенитом, поэтому она смачивает и обволакивает зерна. Рост содержания марганца сопровождается уменьшением растворимости серы в аустените. Физико-химические свойства образующейся с участием марганца избыточной фазы изменяются: повышается температура плавления, увеличивается межфазное натяжение. Вследствие

этого происходит сфероидизация фазы. При большом содержании марганца, например, около 1 %, в результате ликвации сера концентрируется в межосных пространствах дендритов.

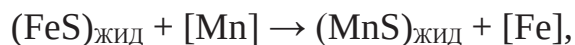
Раскисление низкомарганцовых сталей (0,25–0,50 % Mn) алюминием в количестве 800–1000 г/т не гарантирует от выделения сульфидов пленочного типа. Это известно из практики производства отливок. Алюминий также увеличивает поверхностное натяжение жидкой сернистой фазы в аустените, но в меньшей степени по сравнению с марганцем; кроме того, алюминия в стали после раскисления остается очень мало (сотые доли процента). Пленочные сульфиды появляются преимущественно в массивных отливках, т. е. при замедленных скоростях затвердевания, но встречаются и в небольших отливках при очень низком содержании марганца (около 0,3 %).

Однако алюминий при некоторых условиях оказывает очень сильное влияние на тип сульфидных включений: оно проявляется в сталях с высоким содержанием марганца (0,6–0,9 % и выше). В подобных сталях растворимость серы в аустените значительно понижается и избыточная фаза, обогащенная серой, выделяется из пересыщенного маточного раствора, образуя при завершении кристаллизации сульфидные включения эвтектического типа.

Совместное влияние на тип включений марганца и кислорода, растворенных в избыточной жидкой сернистой фазе аустенита, заключается в том, что эта фаза в отсутствии алюминия обладает высоким поверхностным натяжением и имеет глобулярную форму.

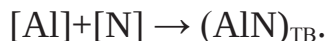
При добавках алюминия в количестве, при котором в аустените после раскисления стали он сохраняется в очень небольшом избытке, кислород из фазы исчезает, межфазное поверхностное натяжение сильно понижается, жидкость растекается на поверхности кристаллитов в момент завершения затвердевания стали. Этому способствует то, что в ее составе при быстром затвердевании, т. е. вследствие неравновесных условий фазовых превращений, отношение железа к марганцу больше, чем это соответствует условиям равновесия.

Вследствие протекания экзотермического процесса, который можно представить в виде уравнения



происходит обогащение марганцем жидкой фазы, содержащей серу. Температура плавления фазы и ее поверхностное натяжение повышаются (чему способствует также прямое влияние понижения температуры). В результате происходит сфероидизация фазы, и жидкие пленки превращаются после затвердевания в цепочкообразные сульфидные включения.

Значительное увеличение алюминия в стали приводит к образованию нитрида алюминия в аустените, если в нем имеется высокая концентрация азота. Этот экзотермический процесс может быть представлен уравнением



При медленном охлаждении происходит диффузия атомов алюминия и азота к границам зерен, где нитрид алюминия кристаллизуется, как и всякая другая избыточная твердая фаза аустенита, с наименьшей затратой энергии. Сульфидные и нитридные неметаллические включения пленочного типа обуславливают хрупкость стали, которая проявляется в межкристаллическом изломе, в низких пластических и вязких свойствах стали и в склонности отливок к трещинам.

Два вида хрупкости литой стали – нитридная и сульфидная – определяются содержанием азота и серы в стали. Нитридная хрупкость незаметна в сталях при содержании азота менее 0,006 %. Снижением содержания серы менее 0,015 % обычно удается предупредить сульфидную хрупкость.

Образование пленочных неметаллических включений находится в тесной зависимости от присадок в сталь алюминия. Отсюда возникает задача определения оптимальных количеств алюминия для раскисления стали. Опыт показал, что при литье легированных сталей с относительно высоким содержанием одновременно серы и азота эта задача оказывается очень сложной. По этой причине недопустимо при выплавке стали, особенно для крупных отливок, превышать содержание серы более 0,02 % и азота более 0,008 %. На основании практического опыта в большинстве случаев присадки 0,06–0,10 % алюминия в легированную сталь обеспечивают нормальное качество отливок.

Сульфидная межкристаллическая хрупкость низкомарганцевой стали может быть исключена путем ее выплавки с содержанием серы не более 0,015 % при максимально допустимом содержании марганца. Однако низкомарганцевые стали, в которых содержание марганца ниже 0,5–0,6 %, для литья применять не следует.

На основании изучения свойств и поведения пленочных неметаллических включений разработаны технологические основы повышения качества стали для отливок.

При плавке стали в электрических дуговых печах необходимо ограничивать поглощение жидкой ванной азота. Для этой цели следует прибегать к раннему шлакообразованию в период плавления шихты посредством завалки в печь железной руды совместно с известью, избегать обнажения ванны во время плавки и сокращать время раскисления шлака и металла, ограничивать присадки алюминия.

Температура и скорость разливки очень сильно влияют на структуру отливок. Негранулирующиеся стали, склонные к сульфидной и нитридной хрупкости, обладают большой чувствительностью к перегреву при плавке по причине образования в отливках крупнозернистой структуры. Такие стали следует разливать при умеренных температурах.

Величина первичных зерен гранулирующихся сталей зависит, главным образом, от скорости охлаждения отливок, т. е. от их веса, поэтому температура разливки мало влияет на склонность стали к хрупкому разрушению из-за межкристаллических неметаллических включений.

Большое значение приобретает контроль выплавки стали. Наряду с серой и фосфором необходимо систематически определять содержание в стали металлического алюминия, азота и водорода. Значительно большего внимания заслуживает проба на излом, показывающая при определенных условиях присутствие в стали пленочных включений и других пороков.

При усовершенствовании сталеплавильных процессов в направлении предупреждения образования в стали межкристаллических пленочных включений достигается существенное упрощение режимов термической обработки отливок. Механические свойства стали, склонной к межкристаллическому разрушению, определяются толщиной слоя неметаллической фазы, обособившейся на зернах аустенита.

Классифицировать трещины в отливках по виду излома стали целесообразно с точки зрения дополнительных признаков, способствующих установлению причин этих распространенных пороков. В разьеме трещин обнаруживается структурная неоднородность стали, например, пленочные неметаллические включения сульфидов и нитрида алюминия. В этом случае трещины названы межкристаллическими; они могут быть как наружными, так и внутренними. Для предупреждения трещин этого вида необходимо избегать образования в стали пленочных неметаллических включений, а в отливках – развития значительных внутренних напряжений.

Классификация трещины и структура стали. Трещинами называют местные нарушения сплошности отливок, которые возникают в них под действием напряжений. Природа этих напряжений различна. В литературе и литейной практике трещины подразделяют на горячие и холодные. Г о р я ч и е трещины возникают при очень высоких температурах под влиянием усадки затвердевания. Х о л о д н ы е трещины образуются при различных, относительно низких температурах под влиянием внутренних напряжений, которые подразделяются на термические, фазовые и усадочные. Холодные трещины называют также т е р м и ч е с к и м и .

Подразделение трещин и соответствующие их наименования, основываются, с одной стороны на температуре, их возникновения (горячие и холодные трещины), а с другой стороны – на происхождении разрушающих отливку сил (термические трещины). В целях уточнения причин появления трещин целесообразно расширить и уточнить их классификацию. Следует, например, ввести в классификацию трещины, появляющиеся в результате отложения по границам первичных зерен аустенита избыточных фаз и, в частности, неметаллических включений. Кроме того, при производстве отливок из легированной стали иногда обнаруживают внутренние трещины, которые возникают под влиянием водорода, выделяющегося из стали. Иногда их классифицируют как флокены.

Для уточнения характера образования трещин целесообразно изучать вид излома стали, образующегося по трещине. По виду окисленной или неокисленной поверхности изломов можно приблизительно установить температуру образования наружных трещин. Трещины, вскрытые изломом, иногда проходят по поверхности первичных зерен аустенита, которые называются межкристаллическими.

Одной из причин разрушения стали при изломе по границам первичных зерен аустенита при повышенных температурах являются избыточные фазы, выделившиеся на этих границах (нематаллические включения, карбиды, цементит или избыточный феррит). Трещины возникают от появления в отливках напряжений, превышающих предел сопротивления стали хрупкому разрушению. Основными факторами образования трещин являются:

- 1) внутренние напряжения (термические, фазовые, усадочные);
- 2) выделение избыточных фаз по границам зерен аустенита;
- 3) повышенное содержание водорода в стали.

Эти факторы действуют одновременно, но всегда какой-то один из них в разных условиях производства отливок оказывается решающим в развитии трещины. Термические напряжения зависят от способа охлаждения отливок. Напряжения от фазовых превращений зависят от химического состава стали и скорости охлаждения отливок. Усадочные напряжения зависят от торможения усадки, а структурная неоднородность, возникающая на границах зерен, как от фазовых превращений, так и от чистоты стали по вредным примесям. Чистота стали по вредным примесям и содержание водорода в ней определяются технологией выплавки стали и производственной дисциплиной.

В соответствии с изложенным в табл. 17.6 приведена классификация трещин в стальных отливках.

Таблица 17.6

Классификация трещин в стальных отливках

Разновидность трещин	Основные факторы возникновения трещин	Время и температура возникновения трещин	Вид поверхности трещин
Горячие	Заторможенная усадка затвердевания (наружные трещины), недостаточное питание отливки при усадке затвердевания (внутренние трещины)	В конце затвердевания стали на том участке отливки, где возникает трещина	Темная, сильно окисленная поверхность; структура стали трудно различима, в отдельных случаях можно заметить поверхности дендритных кристаллитов. На внутренних трещинах видны дендритные кристаллиты с блестящей поверхностью
Термические	Неравномерная в разных частях отливок усадка стали; структурная неоднородность в виде избыточных фаз на границах зерен	При любых температурах после затвердевания отливок, при которых сталь теряет способность к сопротивлению хрупкому разрушению	Трещины, образовавшиеся при низких температурах (ниже 100 °С), имеют блестящую поверхность межкристаллические разрушения стали. При повышенных температурах появляются цвета побежалости от соломенно-желтого до темно-коричневого; на фоне бесструктурной поверхности могут быть первичные зерна аустенита
Межкристаллические	Выделения неметаллических фаз, феррита, цементита или карбидов по границам первичных зерен аустенита; фазовые превращения стали; термические напряжения	При температурах ниже температуры превращения $\gamma\text{Fe} \rightarrow \alpha\text{Fe}$, когда внутренние напряжения становятся наибольшими	На поверхности трещин наблюдаются крупные первичные зерна аустенита. Наружные трещины имеют цвета побежалости, зависящие от температуры их появления. Внутренние трещины имеют резкий металлический блеск сглаженных поверхностей зерен. При глубоком травлении шлифов стали на их поверхности появляются границы зерен стали
Флокены	Повышенное содержание водорода в стали; внутренние напряжения, вызванные структурными превращениями и разным временем появления по объему отливки термической усадки	При относительно низких температурах в конце охлаждения отливки	Светлые матовые или блестящие кристаллические участки внутри и межкристаллические разрушения на темно-сером фоне излома термически обработанной стали. При глубоком травлении шлифов стали в литом состоянии границы зерен не обнаруживаются

31. Газовая раковина – Дефект в виде полости, образованной выделившимися из металла или внедрившимися в металл газами (рис. 17.49).



Рис. 17.49. Отливка, пораженная газовыми раковинами

В зависимости от происхождения газов дефекты, которые ими вызваны, объединяют в две большие группы: внутренние (эндогенные) и внешние (экзогенные).

Эндогенные дефекты образуются от газов, которые выделяются из жидкого металла при его охлаждении.

Экзогенные дефекты вызваны газами, выделяемыми из литейной формы, или воздухом, захваченным металлом, и другими причинами, не связанными с качеством заливаемого металла.

Эндогенные газовые включения. Во всяком металле и сплаве находится определенное количество газов, растворимость которых скачкообразно увеличивается при расплавлении металла и снижается до нуля при его кипении (рис. 17.50).

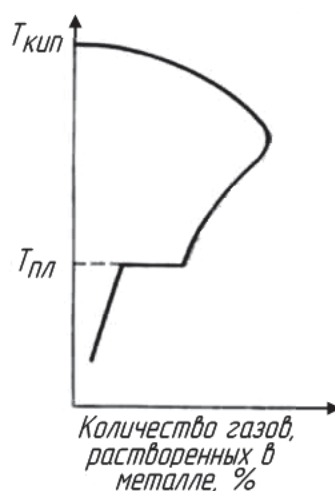


Рис. 17.50. Растворимость газов в металле:

$T_{пл}$ – температура плавления металла; $T_{кип}$ – температура кипения металла

С охлаждением металла растворимость газа уменьшается и при его кристаллизации газы интенсивно выделяются.

При постоянной температуре растворимость газа зависит от его природы и от давления, которое оказывает на него металл.

В общем виде *растворимость* можно оценить по формуле Генри

$$S = np, \quad (17.1)$$

где S – количество растворимого газа; n – коэффициент пропорциональности; p – парциальное давление газа над поверхностью металла.

Высокое парциальное давление у водорода, азота и кислорода, т. е. газов, которые присутствуют в печной атмосфере при плавке металла. Их концентрация в металле изменяется в широких пределах, %:

азот	$(15 \div 140) 10^{-4}$;
водород	$(0,5 \div 3) 10^{-4}$;
кислород	$(4 \div 10) 10^{-4}$.

Водород растворяется в чугунах и сталях в атомарном состоянии, затем отдает свой электрон и превращается в положительный ион H^+ . Атомный радиус водорода очень мал $0,46 \cdot 10^{-10}$ м.

Азот находится в металле в атомарном состоянии, вероятнее в виде трехвалентного иона N^{3+} . Нитридообразующие элементы титан, бор, алюминий и др. в тех количествах, в которых они имеются в чугунах, в состоянии связать лишь небольшую часть азота. Количества нитридов в жидкой стали значительно больше, чем в чугунах, так как в сталь для раскисления вводится алюминий и другие легирующие элементы. Часть азота в стали все же находится в атомарном состоянии. Атомный радиус азота равен $0,7 \cdot 10^{-10}$ м.

Растворение водорода и азота в расплаве черных металлов начинается с *адсорбирования* их молекул на поверхности, что вызвано *малой величиной поверхностного натяжения* на границе металл–газ. Процесс сопровождается уменьшением свободной энергии и выделением теплоты, которая способствует диссоциации молекул газа на атомы. Атомы диффундируют вглубь металла, где отдают часть своих электронов и превращаются в положительные ионы. Малый атомный радиус водорода определяет большое значение коэффициента диффузии этого элемента.

Существует также мнение, что под действием высокой температуры диссоциация молекул на атомы происходит в газовой фазе, непосредственно над жидким металлом.

Сложные газы, молекулы которых состоят из двух и более элементов, например CO и CO_2 , почти не растворяются в расплавленных черных металлах.

В жидких железоуглеродистых сплавах кислород находится в связанном состоянии в виде оксидов (FeO , MnO , SiO_2 , Al_2O_3 и др.). Наибольшее содержание в жидком металле закиси железа (FeO), так как она растворима в железе. В чугунах кислорода меньше, чем в сталях, так как чугун содержит много сильных раскислителей, например кремния. И все-таки кислород, содержащийся в чугуне, часто бывает причиной образования дефектов в отливке.

Растворение водорода и азота в жидком металле – процесс эндотермический, поэтому при перегреве металла скорость растворения газов нарастает. На рис. 17.51 показано влияние температуры расплавленного железа на растворимость водорода и азота при парциальном давлении 10^5 Па.

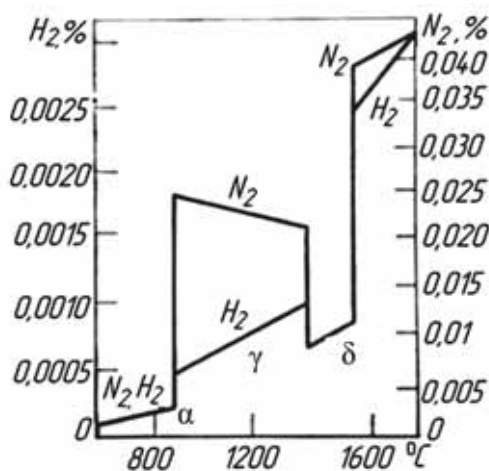


Рис. 17.51. Растворимость водорода и азота в расплавленных черных металлах

В твердом железе атомы (ионы) водорода и азота располагаются в порах кристаллической решетки и образуют фазы внедрения. Значительная растворимость этих двух элементов в γ -железе объясняется его гранцентрированной решеткой, в которой по сравнению с объемноцентрированной решеткой α - и β -железа имеется больше внутренних пор.

Примеси других элементов изменяют растворимость водорода и азота: Cr, C и Si уменьшают растворимость водорода, а Mn, Al, Ni и Co – увеличивают. Изменение растворимости азота при температурах чуть выше точки плавления железа и при парциальном давлении азота в атмосфере плавильной печи 10^5 Па: Ti, V, Nb Cr, Mn, Mo увеличивают растворимость азота, а C, P, Si уменьшают. При высоком содержании углерода (в чугуне) растворимость азота значительно меньше, чем при низком (в сталях).

Растворение в жидком металле больших количеств азота и водорода является предпосылкой образования газовых дефектов в отливке. При охлаждении растворимость газов уменьшается, и они выделяются в металле. Механизм этого процесса не полностью противоположен меха-

низму растворения газов, так как обратная диффузия атомов водорода и азота из внутренних частей отливки к периферии затруднена. Скорость охлаждения расплавленного металла до его затвердевания значительно больше скорости нагрева металла до расплавления. При таких условиях обратная диффузия газов протекает медленнее, чем скорость образования твердой корки в отливке, и газ остается в металле. С другой стороны, в результате быстрого охлаждения наружных частей отливки растворимость газов в них быстро падает. Поэтому диффузия газов происходит от внешних слоев отливки к внутренним и в конце кристаллизации сплава газы выделяются в молекулярной форме в виде самостоятельных газовых включений или заполняют усадочные раковины, образовавшиеся из-за недостаточного питания отливки. В твердом сплаве газ в молекулярном виде не растворяется из-за больших размеров молекул, не уместяющихся в порах кристаллической решетки.

Основное количество газов, растворенных в жидком металле, выделяется в виде самостоятельной фазы, т. е. образуют пузырьки, если выполнено условие

$$P_{\text{ГАЗ}} > P_{\text{АТМ}} + P_{\text{МЕТ}} + P_{\sigma}, \quad (17.2)$$

где $P_{\text{ГАЗ}}$ – парциальное давление газа в металле; $P_{\text{АТМ}}$ – атмосферное давление газов в форме над жидким металлом; $P_{\text{МЕТ}}$ – металлостатическое давление, равное произведению высоты H столба жидкого металла над местом образования газового пузырька и плотности γ жидкого металла, т. е. $P_{\text{МЕТ}} = H\gamma$; P_{σ} – давление газа в пузырьке с радиусом r на окружающий металл с поверхностным натяжением σ , т. е. $P_{\sigma} = 2\sigma/r$.

Первоначально диаметр газового пузырька очень мал и поэтому давление в нем очень большое. Самопроизвольное его образование потребовало бы большой концентрации растворенного газа в металле, чего в действительности нет. Газовый пузырек выделяется на каком-либо зародыше с большой поверхностной энергией. Такими зародышами в жидком металле являются твердые примеси (неметаллические включения, аустенитные дендриты в начальной фазе кристаллизации металла и др.).

Газы, выделившиеся в жидком металле до его затвердевания (малая вязкость), не образуют раковин в отливке. Газы, выделившиеся в период кристаллизации металла, вязкость которого сильно возросла, как правило, остаются в отливке. Почти полностью выделяются газы из *эвтектических сплавов*, отверждаемых при постоянной температуре без образования первичной фазы. Газовые раковины часто возникают в отливках из сплавов с большим интервалом кристаллизации и низкой степенью эвтектичности (ковкий и модифицированный чугуны).

Размер, форма и число газовых раковин, образующихся в жидком металле, в большой степени зависят от их коэффициента диффузии. Величина этого коэффициента для некоторых примесей литейного чугуна приведена ниже

элементы	H ₂	C	N ₂	Si	S	O ₂
коэффициент диффузии D, 10 ⁻⁵ см ² /24 ч	14900	7900	3400	100	8,5	6,5

Высокий коэффициент диффузии водородных атомов определяется их очень малыми размерами. Водород образует много мелких сферических раковин. Раковины от выделившегося азота имеют вид трещин завихренной формы длиной 5–6 мм и шириной 1–2 мм. Часто эти раковины называют дефектом – запятой.

Специфичная форма связана с малым коэффициентом диффузии атомов азота, в результате чего фронт кристаллизующегося сплава «настигает» диффундирующие газы и сдавливает их.

Находящийся в расплаве кислород (в виде FeO) выделяется при восстановлении оксида углеродом металла



Экзотермический характер реакции определяет ее направление вправо при понижении температуры расплавленного металла.

Оксид углерода практически не растворяется в металле и образует в нем полости, в которые диффундирует часть растворенных газов – водорода и азота. Содержание газов в металле зависит от технологии плавания и плавильных печей (рис. 17.52).

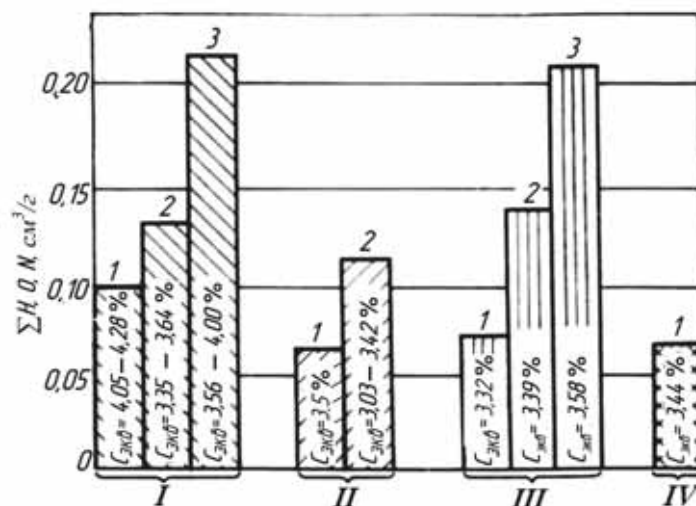


Рис. 17.52. Влияние типа плавильного агрегата на растворимость газов в чугуне: 1 – индукционная тигельная печь; 2 – вагранка с подогревом воздуха; 3 – вагранка без подогрева воздуха; I – модифицированный чугун; II – нелегированный чугун; III – легированный чугун; IV – синтетический чугун

Металл, приготовленный в индукционной печи, имеет меньший контакт с атмосферой по сравнению с металлом, выплавленным в вагранке.

Экзогенные газовые включения. До образования затвердевшего слоя металла на поверхности отливки газы, выделяющиеся из литейной формы, могут проникать в жидкий металл с образованием раковин. Чем больше давление газов в форме, тем активнее они внедряются в металл. При литье в сырые формы газовая атмосфера в полости формы содержит около 50–60 % (объемных) водорода, который растворяется в металле.

Газовое давление в заполненной металлом форме создает расширяющиеся поры. С уменьшением газопроницаемости формы газовое давление возрастает.

Когда давление газов, выделяющихся из формы, превышает металлостатическое давление, газы проникают в жидкий металл и всплывают на поверхность. При бурном выделении газов металл почти «вскипает».

Кипение металла обычно сопровождается его выбросом из литниковой чаши или выпоров. Если кипение прекратится, пока металл находится в жидком состоянии, то раковин в отливке может и не быть. В противном случае, отливка имеет большое количество крупных раковин.

При заливке металла наблюдается два максимума газового давления (рис. 17.53).

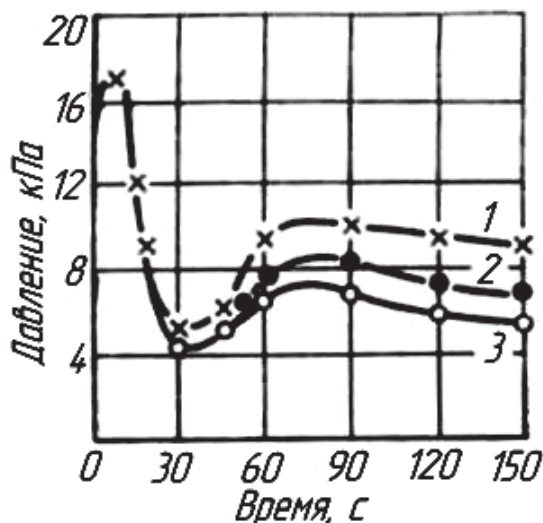


Рис. 17.53. Давление газа в форме при заливке и отверждении металла:

- 1 — толщина стенки отливки 50 мм, температура заливки 1350 °C;
- 2 — толщина стенки отливки 50 мм, температура заливки 1250 °C;
- 3 — толщина стенки отливки 18 мм, температура заливки 1250 °C

Первый максимум почти совпадает по времени с началом контакта металла с формой. Спустя 40–50 с от начала заливки из формы

выделяется около 90 % объема всех газов. В отливку проникает много газов, которые всплывают на поверхность металла, так как вязкость его мала. В этот период форма еще недостаточно прогрета и воздух, находящийся в ее порах, не увеличивает своего объема. Если смесь имеет высокую газопроницаемость и малую газотворность, то в дальнейшем расширение воздуха не приведет к образованию газовых включений.

Второй максимум появляется из-за ухудшения газопроницаемости формы. Причинами могут быть *уменьшение площади вентиляционных каналов* из-за перекрытия металлом зазоров в знаковых частях формы и *образования зоны конденсации* влаги с низкой газопроницаемостью. Вторым максимум газового давления наступает спустя 1–2 мин, после заливки, и, если к этому времени на отливке не образуется прочная корка металла, проникающие через нее газы могут образовывать в отливке газовые раковины. Предотвратить этот дефект возможно *улучшением конструкции формы* и особенно вентилированием стержней. Отвод газов из формы можно улучшить наколами металлическим душником. Расстояние между концом душника и моделью не должно превышать 10 мм (рис. 17.54).

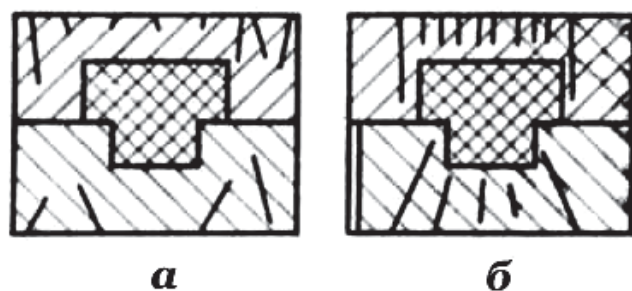


Рис. 17.54. Вентиляция литейной формы: а – неправильно; б – правильно

Газы, выделяемые из формы, могут вызвать дефекты различной формы (рис. 17.55). Если газы проникают в металл без затвердевшей корки, то они «всплывают» на поверхность (17.55, а, б) или проходят через стенку формы при ее достаточной газопроницаемости (17.55, в). При плохой газопроницаемости формы (газонепроницаемое окрашивание, зона конденсации влаги и др.) образуется открытая *газовая раковина* (17.55, г). Закрытая раковина получается, если на поверхности металла образовалась твердая корка. Для того, чтобы раковина «не вышла» на поверхность отливки, толщина твердой корки на поверхности металла должна быть больше 0,1 мм. Если к этому моменту корка металла в нижней части достаточна пластична, то металл может ее продавить и остаться внутри отливки (17.55, д) или же образовать внизу отливки *открытую раковину* (17.55, е).

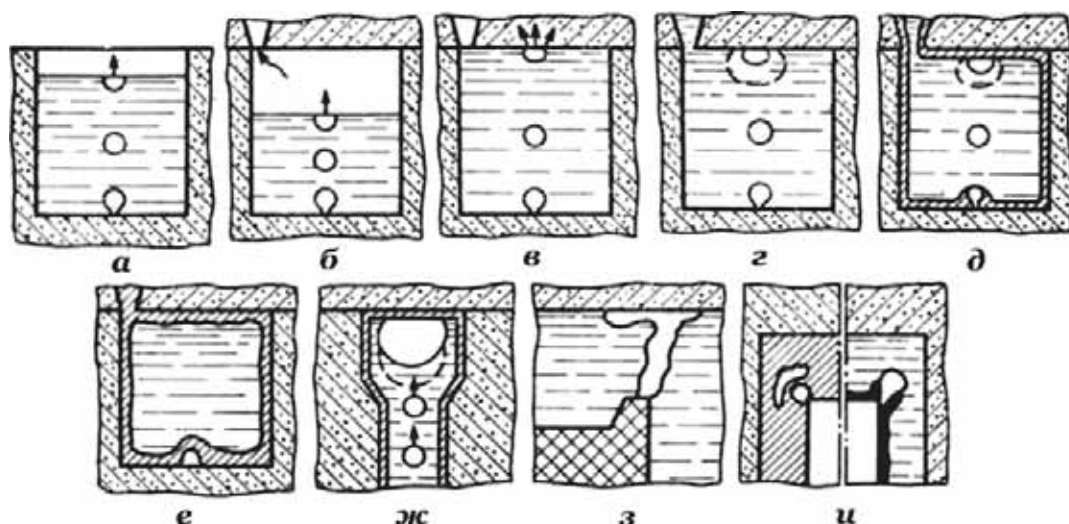


Рис. 17.55. Схема образования дефектов от газов, выделяющихся из формы

Газы, выделяемые из стержня, образуют большую *скрытую раковину* (17.55, ж). Стержень, который почти со всех сторон заливается металлом, образует особенно много газов. В этом случае образуется сквозная газовая раковина (17.55, з). На рис. 17.55, и показаны раковины, возникшие в зоне теплового узла отливки.

Воздушные раковины получаются при *механическом захватывании воздуха* жидким металлом при прерывистой заливке, при большой высоте падения металла, при раздроблении металла на отдельные потоки внутри формы.

При обтекании острых ребер струя металла отходит от стенок литниковой системы или стенок полости формы, образуется вакуумная пустота, в которую через стенки формы засасывается воздух (рис. 17.56).

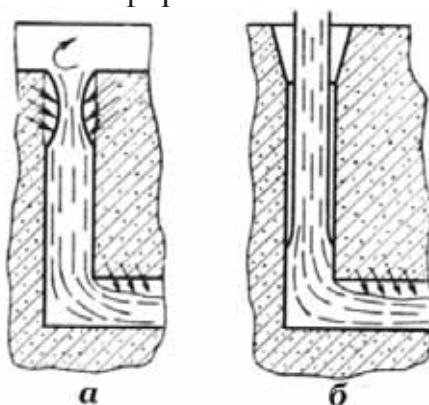


Рис. 17.56. Захватывание воздуха струей жидкого металла:
а — заливка через литниковую чашу; б — заливка из стопорного ковша

Газовые дефекты возникают в результате выделения газов при вза-

имодействии углерода жидкого металла с окисленными поверхностями холодильников, жеребеек и др.



Рабочая поверхность металлических предметов, повторно используемых в литейной форме, покрыта сеткой термических трещин. Содержащийся в них воздух при нагревании расширяется и внедряется в отливку. Холодные металлические холодильники, устанавливаемые в недостаточно охлажденные формы, конденсируют влагу, которая при заливке металла вскипает и образует газовые раковины.

При медленной заливке форм встречными потоками металла образуются газовые раковины от окисления поверхности этих потоков (рис. 17.57). Оксиды реагируют с углеродом металла с образованием CO.

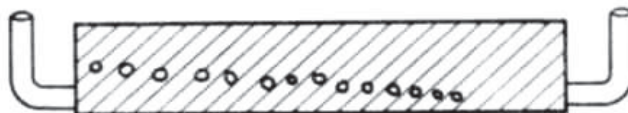


Рис. 17.57. Газовые раковины, образовавшиеся в результате пересечения потоков металла

Газовые дефекты в отливках и способы их предупреждения. Газовые дефекты часто встречаются в отливках, которые получены с использованием большого числа сложных стержней или имеют толстые стенки, обрабатываемые со всех сторон. Во многих случаях газовые дефекты вскрываются при механической обработке. По производственным данным, доля дефектов по газовым раковинам составляет в общем количестве брака (табл. 17.7).

Таблица 17.7

Доля газовых дефектов в общем количестве брака в отливках для транспортного и сельскохозяйственного машиностроения

Вид отливок	Доля газовых дефектов, %
Головки блоков	50–60
Блоки двигателей	20–40
Гильзы цилиндров	25–40
Тормозные диски	60–70
Маховики	30–70
Зубчатые колеса	65–70
Втулки	60–70

Соотношение между числом эндогенных и экзогенных раковин различно и определяется видом отливок и спецификой производства. Существует мнение, что в чугунных отливках преобладают экзогенные, а в остальных – эндогенные раковины.

Газовые дефекты в отливках для тракторных двигателей можно распределить в зависимости от причин их образования (табл. 17.8).

Таблица 17.8

Классификация газовых дефектов по способу их образования

Источник дефектов	Доля газовых дефектов, % общего брака.	
	Чугун	Сталь
Газ, растворенный в жидком металле	15	30
Газ, образующийся при химических реакциях в жидком металле	5	15
Механический захват воздуха жидким металлом	20	15
Газ, образующийся при химических реакциях на границе металл – форма	5	10
Газ, выделяющийся из формы и стержней	50	25
Прочие газы	5	5

В табл. 17.9 приведены причины образования газовых раковин в отливках для металлообрабатывающих машин, изготовленных из модифицированного чугуна с заливкой в сухие формы, а в табл. 17.10 причины образования газовых дефектов и способы их предотвращения.

Таблица 17.9

Классификация причин образования газовых дефектов

Источник дефектов	Доля газовых дефектов, % общего брака		
	станины станков	коробки передач	каретки суппорта
Газ, растворенный в жидком металле	15	10	5
Газ, образующийся при химических реакциях в жидком металле	20	20	40
Механический захват воздуха жидким металлом	20	20	10
Газ, образующийся при химических реакциях на границе металл – форма	10	10	25
Газ, выделяющийся из формы и стержней	35	40	20

Таблица 17.10

*Основные причины образования газовых дефектов в отливках
и способы их предотвращения*

Группа	Основные причины образования дефектов	Способы предотвращения дефектов
I	Газонасыщенность жидкого металла	Уменьшить газонасыщенность шихтовых материалов Снизить содержание в металле элементов, которые увеличивают его газонасыщенность Использовать науглероживающие материалы с минимальным содержанием азота Установить в форме достаточное число выпоров Продувать металл в ковше инертным газом Тщательно просушивать литейные ковши и желоба печных агрегатов Не использовать ржавую шихту
II	Газовыделение при реакциях, проходящих в жидком металле	Не использовать мелкие, окисленные и масляные металлургические отходы Хорошо раскислять металл Минимально окислять металл во время плавки Не допускать образования брызг металла при разливке Загущать шлак и предотвращать его попадание в отливку Ограничивать окисление металла при его разливке
III	Затрудненное выделение газов из отливки	Повысить температуру заливаемого металла Перегреть металл при плавке Повышать степень эвтектичности чугуна, если это возможно
IV	Реакция металла с материалом формы, при которой выделяются газы	Использовать чистые и сухие холодильники Предотвращать конденсацию водяных паров на форме и стержне Не заливать формы чрезмерно перегретой сталью Предотвращать попадание в формовочную смесь частиц металла
V	Механический захват воздуха при заливке металла	Не заливать металл с большой высоты Заливать металл с полной литниковой системой, без прерывания струи Оптимизировать литниковую систему Заливать металл в верхнюю часть формы, если такой способ не вызывает других дефектов Улучшить конструкцию литниковой чаши

Группа	Основные причины образования дефектов	Способы предотвращения дефектов
VI	Выделение газов из литейной формы	Уменьшать влажность смесей при использовании сырых форм Высушивать литейные формы Использовать термоустойчивые и негаснущие связующие материалы Увеличить вентиляцию форм и стержней Не заливать газоотводные каналы жидким металлом Обеспечивать полное сгорание органических растворителей в быстросыхающих красках Обеспечить технологичность формы и отливки Уменьшить содержание азота в связующих материалах при литье стали и доэвтектического чугуна, использовать краски с малой газотворностью

Дефекты, вызванные наличием водорода. Долгое время считалось, что основная часть газовых дефектов вызывается водородом. Последние исследования показали, что при нормальных условиях плавления и разливки количество водорода в расплавленном металле недостаточно для образования водородной пористости. Пористость в сером чугуне появляется, если содержание водорода превышает 0,0004 %, а по некоторым данным – 0,0001 %.

Первый вид дефекта, вызванного водородом, представляет собой газовые раковины размером 1–6 мм с *округленными формами*, наиболее часто встречаемыми в толстых сечениях и тепловых узлах отливки (рис. 17.58).

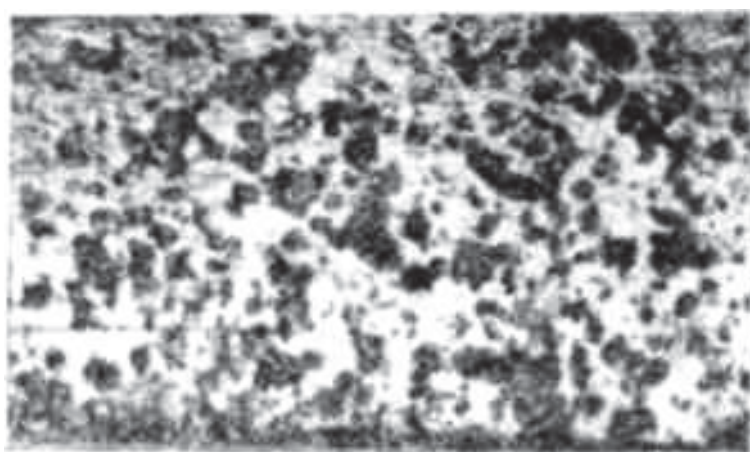


Рис. 17.58. Отливка из модифицированного чугуна, изготовленная из металла с большим количеством растворенного водорода (газовые раковины)

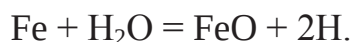
Часть этих дефектов является следствием диффузии водорода из внешних частей отливки к внутренним. Источником газовых «раковин» может быть водород, образующийся из сырой футеровки печей, невысушенного желоба и литейного ковша, из непрокаленных и влажных ферросплавов, вводимых в металл, и др. Содержание газов в некоторых из ферросплавов показано в табл. 17.11.

Таблица 17.11

Содержание газов (%) в некоторых ферросплавах

Ферросплавы	H ₂	O ₂	N ₂
75%-ный ферросилиций	0,0014	0,024	0,001—0,005
90%-ный ферромарганец	0,0012	0,002	0,0014
Силикокальций	0,0072	0,007	0,031
63%-ный феррохром	0,0010	0,078	0,0427
37%-ный ферротитан	0,0041	0,155	0,0077

Много водорода вносят ржавые металлические отходы, в которых вода присутствует в гидратной форме. Так, например, одна тонна шихты с 1 % ржавчины содержит 2,5 кг водорода. При плавке водород выделяется в атомарном состоянии и активно растворяется в металле



Устранить газовые дефекты возможно только при полном высушивании всех материалов, соприкасающихся с жидким металлом. Футеровку ковшей следует подогревать до красного цвета. Ферросплавы следует хранить в сухом помещении и перед употреблением прокаливать.

Чем длительней контакт расплавленного металла с газовой атмосферой, тем больше водорода растворяется в металле. Следовательно, процесс плавки должен вестись как можно быстрее. Покровные флюсы (криолит и др.) понижают растворение газа в металле. Дегазация стали тетрафлурэтилом в ковше вдвое уменьшает концентрацию водорода, а вакуумирование удаляет 70 % растворенного водорода.

Второй вид дефектов, вызванный наличием водорода, представляет собой многочисленные *газовые раковины правильной сферической или овальной* формы с размерами до 3 мм. Они расположены на поверхности или около поверхности отливки. Такой дефект классифицируется как *ситовидная поверхность*, он встречается во всех отливках из железоуглеродистых сплавов, заливаемых в сырые формы. Наиболее опасен дефект для тонких стенок отливок. Поверхность закрытых раковин, образующихся в отливках из серого и высокопрочного чугуна, покрыта тонким графитовым слоем. Если разбить отливку, то одна часть раковины будет покрыта слоем графита, а другая – имеет блестящую серую поверхность. В пери-

ферийной зоне раковины в структуре присутствует мелкий графит. Раковины в отливках из белого чугуна имеют большой размер, расположены в глубине отливки, их поверхность обладает серебристым оттенком.

Ситовидная пористость в чугунных отливках (рис. 17.59) образуется, главным образом, под воздействием водорода, проникающего в металл из влаги литейной формы. Число пор увеличивается, если металл был наводорожен при плавке. При соприкосновении с жидким металлом вода формы разлагается и выделяется атомарный водород, адсорбирующийся на поверхности металла. При последующем охлаждении отливки водород переходит в молекулярную форму. Из-за большой вязкости металла водород не может выделиться и образует газовые раковины. В доэвтектических чугунах газовых включений больше, чем в заэвтектических. Это связано с тем, что в заэвтектических чугунах много графитовых включений, адсорбирующих водород, выделяющийся в молекулярном виде, а также с тем, что большая жидкотекучесть чугуна с углеродным эквивалентом $C_{ЭКВ} = 4,35 \div 4,50$, сохраняющаяся длительное время, достаточна для выделения водорода из жидкого металла.

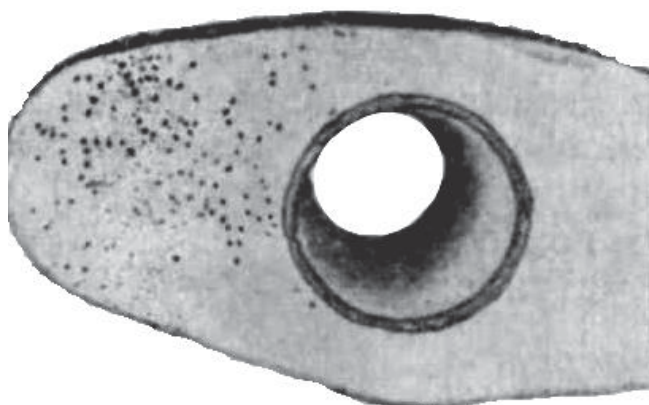
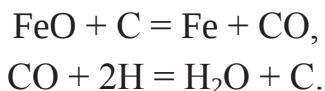
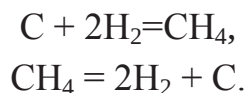


Рис. 17.59. Ситовидная пористость в чугунной отливке

Существует две теории, объясняющие выделение графита на поверхности газовых раковин («углеродная» и «метановая»). По «углеродной» теории, разлагающаяся вода окисляет железо. Оксид железа, реагируя с углеродом металла, образует оксид углерода, который затем восстанавливается водородом

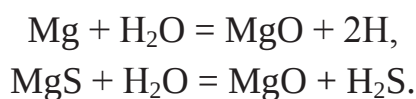


По «метановой» теории в газовой раковине первоначально образуется метан, который при понижении температуры разлагается с выделением углерода



Обе теории объясняют также обезуглероживание металла стенок раковин.

Дефектность чугуновых отливок резко возрастает, если в металл попадает алюминий в количестве 0,005–0,11 %. Алюминий ускоряет разложение воды, т. е. увеличивает содержание растворенного в металле водорода. При увеличении содержания алюминия свыше 0,02 % ситовидная пористость понижается. Предполагается, что в этом случае на границе металл–форма образуется достаточно плотная пленка Al_2O_3 , препятствующая диффузии водорода в расплавленный металл. Действие магния аналогично действию алюминия, если его остаточное количество в чугуне превышает 0,09 %,



Марганец способствует растворению водорода в сплаве. На рис. 17.60 показано влияние примесей в чугуне на растворимость в нем водорода.

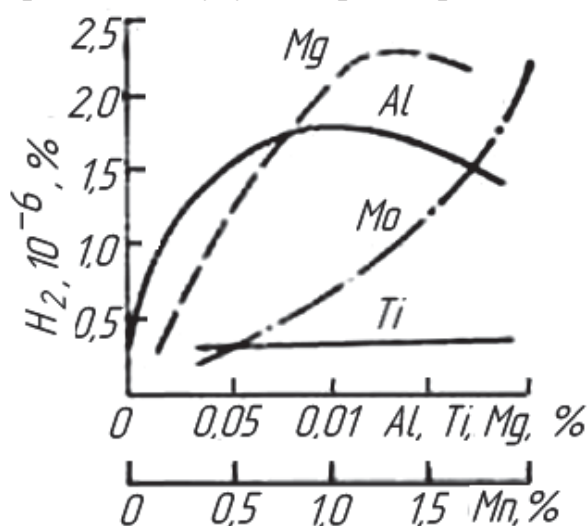


Рис. 17.60. Влияние некоторых элементов на растворимость водорода в чугуне

Особенно вредно одновременное присутствие в металле алюминия и магния. Газовые дефекты можно уменьшить введением в формовочную смесь 2–3 % пека или 6–7 % каменноугольного порошка. Эти добавки уменьшают скорость затвердевания отливки, и водород успевает выделиться из металла.

Висмут снижает поверхностное натяжение чугуна и уменьшает количество растворенного водорода. Но если содержание алюминия в металле превысит 0,04–0,16 %, то действие висмута прекращается, и отливки получаются пористыми. При одинаковом содержании алюминия количе-

ство растворенного водорода увеличивается с повышением содержания в металле марганца и серы (рис. 17.61).

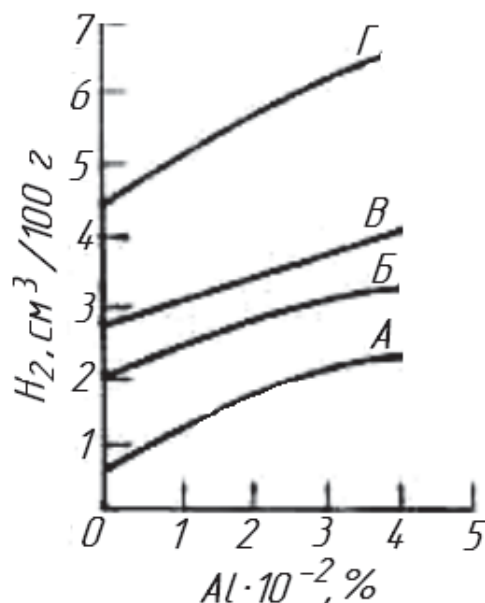
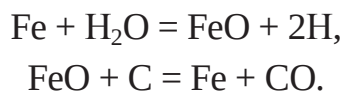


Рис. 17.61. Влияние Al, Mn и S, % на растворимость водорода в ковком чугуне: А — 0,3 Mn, 0,03 S; Б — 0,3 % Mn, 0,15 S; В — 1,5 Mn, 0,03 % S; Г — 1,5 Mn, 0,15 S

Участие водорода в образовании ситовидной пористости в стальных отливках доказано многократно и объясняется реакцией между влагой формы и Fe металла



Оксид углерода нерастворим в металле. В раковинах, которые он образует, выделяется водород. При увеличении в металле водорода число дефектов значительно растет. Ситовидная пористость в стали также связана с CO, который выделяется из металла при его плохом раскислении.

Основными причинами ситовидной пористости в чугунных отливках являются попадание в металл алюминия и увеличение влажности облицовочной смеси свыше 4,5 %. Алюминий может попадать в шихту при небрежной сортировке чугунных отходов от двигателей внутреннего сгорания. В некоторых литейных цехах массовый брак по ситовидной пористости получается при разжигании вагранки отходами деревянных моделей, из которых не извлечены алюминиевые части. Первые 2—3 тонны жидкого чугуна непригодны для заливки в формы.

Алюминий вносят с модификаторами. Особого внимания требует применение ферротитана, содержащего алюминий.

Литниковая система может уменьшить дефект по ситовидной пористости, если она обеспечивает малый контакт жидкого металла с влажной

формой. На рис. 17.62 показано изменение литниковой системы, обеспечивающей получение плотных отливок.

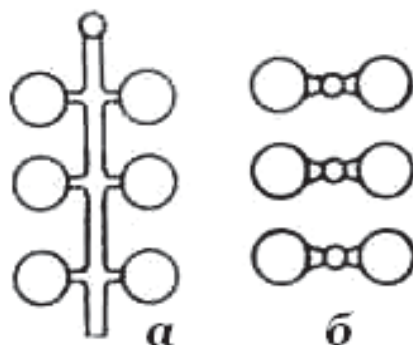
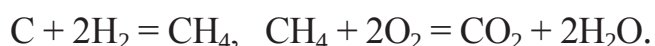


Рис. 17.62. Литниковая система: а – неправильная; б – правильная

Интересна гипотеза о влиянии водорода на образование дефектов в тех частях отливки, где расположены чугунные холодильники. В холодильниках содержится водород в молекулярном виде, адсорбированный от графитовых включений чугуна. При 700 °С этот водород реагирует с углеродом с образованием метана, при сгорании которого выделяется вода:



Дефекты, вызванные наличием азота. По «вине» азота сравнительно редко возникают чисто эндогенные дефекты. Это возможно только в том случае, если его содержание в металле превышает 0,010–0,017 %. Дефекты имеют вид включений длиной 5–10 мм и шириной 1–2 мм, расположенных в термических узлах отливки и в ее толстых сечениях. На рис. 17.63 показаны эндогенные азотные газовые включения, вскрывшиеся после механической обработки отливки толщиной 100 мм. Материал отливки – модифицированный чугун марки СЧ30, выплавленный с использованием в шихте 55 % стали.

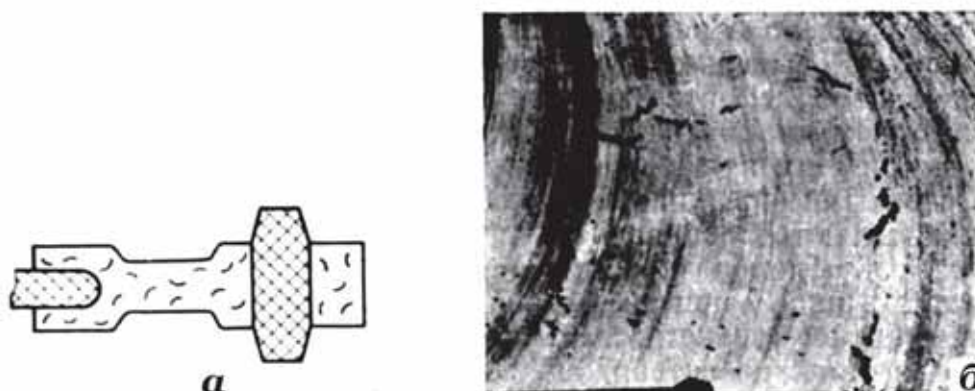


Рис. 17.63. Азотные поры в отливке из модифицированного чугуна: а – схема; б – дефектная отливка

Главными источниками азота в железоуглеродистых сплавах при их расплавлении являются стальные отходы, печная атмосфера, науглероживатели и др. Сталь, выплавляемая в электродуговых печах, содержит в 5–10 раз больше азота, чем мартеновская. При изготовлении ответственных отливок из серого чугуна следует проверять содержание азота в стальных отходах, особенно, если сталь была выплавлена в электродуговой печи. Для практики особенно важно знать, какое количество стальных отходов в шихте вызывает пористость в чугунных отливках. Одна из таких зависимостей при выплавке модифицированного чугуна показана на рис. 17.64. Металл выплавлен в вагранке с подогревом дутья.

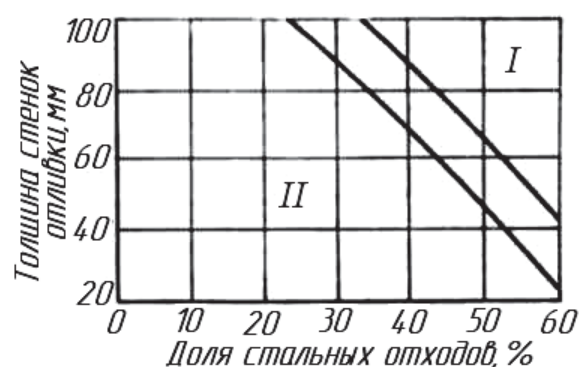


Рис. 17.64. Влияние количества стальных отходов в шихте на дефекты, вызванные азотной пористостью, в отливках, полученных в формах с фурановыми связующими (8 % азота): I – зона дефектных отливок; II – зона отливок бездефектных

На рис. 17.65 показано влияние изменения количества стали в шихте на брак отливок из серого чугуна, выплавленного в индукционной печи с различными науглероживателями. Брак уменьшается, если заменить нефтяной кокс электродным графитом, при использовании которого содержание азота в чугуне снижается до 0,011 %.

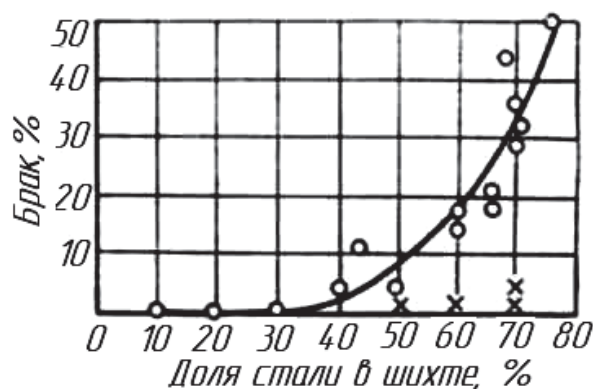


Рис. 17.65. Влияние науглероживателей на брак, вызванный азотной пористостью: O – нефтяной кокс; X – электродный графит

Практические данные показывают, что повышенный брак в чугунных отливках по раковинам, залитых металлом из индукционной печи получается при использовании науглероживающих добавок с содержанием азота более 1,5 %. Использование другого науглероживателя с содержанием 0,1 % азота позволяет ликвидировать дефекты, вызванные газовыми включениями.

В табл. 17.12. приведены данные по содержанию азота в науглероживателях.

Таблица 17.12

Содержание азота в науглероживателях

Наименование	Содержание азота, %
Нефтяной кокс	2,0
Антрацит	1,4
Литейный кокс	0,8
Древесный уголь	0,6
Графит	0,1
Электродный бой	0,1
Сажа	0,1

Эндогенные газовые включения, вызванные наличием азота, можно исключить, если ввести в металл титан, который образует устойчивые нитриды. В чугуне содержание титана не должно превышать 0,05 %, если требования к его структуре высоки.

Дефекты от азота, выделяемого из литейной формы. В стальных и чугунных отливках, полученных в формах с использованием азотосодержащих связующих, образуется *ситовидная пористость*, подобная водородной. В чугуне раковины имеют *правильную сферическую*, а в стали — *овальную* форму. Раковины располагаются вблизи участков формы, откуда выделяется азот (рис. 17.66).

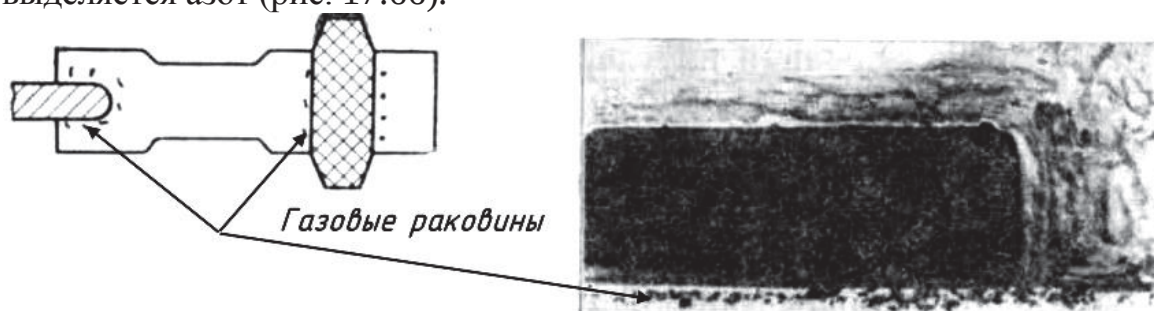


Рис. 17.66. Образование азотных раковин возле стержней

Разложение органических связующих при заливке форм металлом происходит с одновременным выделением водорода и азота. Тогда появляется смешанная водородно-азотная пористость. Она характерна для от-

ливок из высокопрочного чугуна, в котором остаточный магний каталитически действует на абсорбцию водородных и азотных атомов, особенно при его содержании 0,05 – 0,10 %.

Азотная пористость уменьшается при использовании малоазотистых связующих материалов или уменьшении их количества в смеси. Для стальных отливок вообще не рекомендуется применять связующие вещества с азотом. В ряде стран ответственные чугунные отливки изготовляют в формах с фурановым связующим, в котором содержание азота не превышает 3 %. Для предупреждения пористости следует окрашивать стержни *цирконовой краской*.

Смешанная водородно-азотная пористость может возникать из-за *спиртовых красок*, нанесенных на стержни с фурановыми связующими. Если спирт не полностью выгорел, то при заливке металла он выделяет водород, а фурановая смола – азот.

Необходимо быть внимательным при использовании регенерированных песков с фурановыми и другими отходами, которые содержат азот. Лучший регенерат получается при термическом методе. Регенерируемый песок при использовании следует контролировать на содержание азота.

Азотную ситовидную пористость устраняют, используя в смеси 2–5 % оксидов железа Fe_2O_3 . Оксиды железа увеличивают теплопроводность смеси и способствуют быстрому образованию твердой корки металла, т. е. предотвращают доступ азота из формы к металлу.

Дефекты, вызванные наличием оксида углерода. Оксид углерода относится к так называемым восстановительным газам. Он образуется при реакции углерода с оксидами железа, присутствующими в металле.

Окисление железоуглеродистых сплавов увеличивает в них содержание оксида FeO , который с понижением температуры реагирует с углеродом металла по реакции (17.5). Попадание в отливку шлака вместе с FeO неизбежно приводит к образованию газовых раковин.

Окисленные брызги металла, попавшие в полость литейной формы, выделяют CO [реакции (17.6) и (17.8)]. Оксиды железа на поверхности металлических холодильников при заливке металлом реагируют в соответствии с реакциями (17.6), (17.7) и (17.8).

Экзотермический характер этих реакций определяет интенсивность их протекания при охлаждении металла. В зависимости от условий образования газовые раковины, вызванные наличием оксида углерода, могут отличаться видом, размером и распределением в отливке.

Ситовидная пористость в стальных отливках. Помимо водорода, существенной причиной образования ситовидной пористости явля-

ется окись углерода. Ситовидная пористость представляет собой многочисленные мелкие газовые раковины округленной формы, часто удлиненные, расположенные у поверхности отливки и частично выходящие на поверхность отливки. Поверхность закрытых раковин блестящая, открытых – окисленная.

Главная причина образования ситовидной пористости – недостаточное раскисление стали, при котором с понижением температуры FeO реагирует с углеродом металла. Ситовидная пористость может возникнуть и при *раскислении стали*, например при дополнительном окислении разливаемого металла, при выдержке металла в ковше и особенно при окислении водяными парами металла, заливаемого в сырые формы. В последнем случае вместе с оксидом углерода выделяется также водород. Газовая пористость особенно «поражает» тонкие стенки отливки, полученной в сырой форме. В толстых сечениях оксиды железа диффундируют в жидкий металл и восстанавливаются алюминием. В тонких стенках такая диффузия затруднена из-за быстрого отверждения металла. В этом случае жидкий металл рекомендуется подводить к тонким стенкам отливки. Перегрев тонких частей отливок уменьшает скорость охлаждения и позволяет всплыть образующимся газам.

Образование ситовидной пористости показано на рис. 17.67. Удлиненная форма и перпендикулярное к поверхности отливки расположение газовых раковин объясняется ростом дендритов и их давлением на газовую фазу. С увеличением скорости кристаллизации доступ газа к раковинам затрудняется и одновременно прекращается увеличение их размеров. Этим объясняются почти одинаковые размеры раковин, лежащих обычно на глубине 5–7 мм.

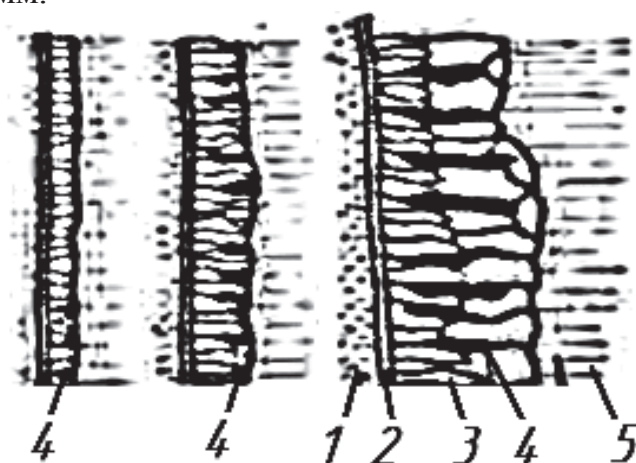


Рис. 17.67. Образование ситовидной пористости в стальной отливке:

1 – форма; 2 – поверхностный слой окислов железа;
3 – дендриты; 4 – ситовидные поры; 5 – жидкая сталь

Доказательством влияния СО на образование ситовидной пористости является то обстоятельство, что она не появляется в хорошо раскисленной стали даже при высоком содержании водорода. В то же время *недостаточно раскисленная сталь* образует ситовидную пористость при малом содержании растворенного водорода. Пористость появляется в отливках, полученных в *сухих формах*, если они содержат окислы железа. Легированные хромом отливки, заливаемые в магнезитовые формы с 8,6 % Fe_2O_3 , получают с ситовидной пористостью. Если в сталь ввести 0,2 % алюминия, то пористость исчезнет, однако покрытие формы алюминиевой пудрой не приводит к успеху.

Ситовидной пористостью могут быть поражены стальные отливки, полученные в *формах* CO_2 -процессом, в большей степени, чем отливки, изготовленные в песчано-бентонитовых формах. Это, вероятно, связано с активным выделением водяных паров из жидкостекольных смесей в начале заливки металла. Сталь, заливающую в жидкостекольные формы, рекомендуется раскислять увеличением на 1/3 количества вводимого алюминия. Качество отливок улучшится, если на поверхность формы нанести сульфитный щелок плотностью 1,2–1,4 и подсушить на воздухе.

Ситовидная пористость увеличивается при повышении температуры заливаемой стали. Отливки, полученные в сухих формах, имеют пористость, если сталь была загазована и перегрета. Сталь рекомендуется заливать при температуре, определяемой уравнением

$$t = t_{\text{л}} + (30 \div 50) \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (17.3)$$

где t – температура заливки; $t_{\text{л}}$ – температура ликвидуса.

Не рекомендуется охлаждать сталь в ковше, так как при этом она насыщается газами. На рис. 17.68 показано изменение количества кислорода в стали в зависимости от ее выдержки в ковше. При продолжительной разливке в сталь следует вводить увеличенную дозу алюминия.

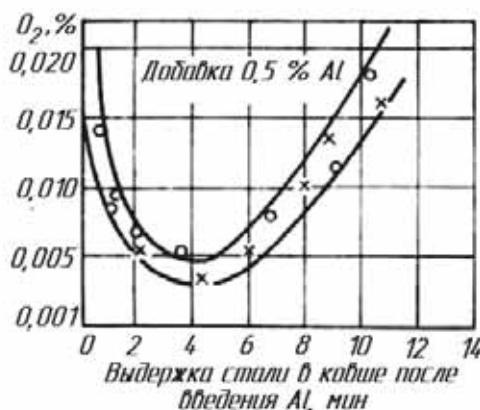


Рис. 17.68. Влияние выдержки стали в ковше на количество растворимого в ней кислорода

Качественное раскисление стали – важнейшее средство предотвращения ситовидной пористости. Для раскисления одной тонны стали рекомендуется вводить 1–1,3 кг алюминия. Остаточное количество алюминия в стали должно быть более 0,03 %.

Редкоземельные металлы воздействуют на металл комплексно, как раскислители, десульфураторы и дегазаторы. В малых количествах они рафинируют сталь и повышают ее плотность. Комплексное раскисление жароупорной стали 0,2 % алюминия и 0,2 % мишметалла (сплав редкоземельных элементов) в 3 раза снижает брак от газовых дефектов.

Уменьшение содержания кислорода в расплавленном металле уменьшает ситовидную пористость. В основном кислород попадает в металл из загрязненной шихты, особенно если ее хранят на открытом воздухе (коррозия). При правильном хранении шихты (в контейнерах) содержание в ней окислов снижается на 80 %. Плавить загрязненную шихту невыгодно и с экономической точки зрения, так как при восстановлении оксидов до железа требуется примерно в 5 раз больше энергии, чем при расплавлении чистого железа.

Металлургический процесс получения стали должен проходить в условиях, снижающих содержание в ней газов. Интенсивное кипение в окислительном периоде связано с выделением водорода и азота вместе с оксидом углерода. Чтобы качественно прошел процесс кипения стали, содержание углерода в ней должно быть более 0,4 %, а скорость обезуглероживания – не менее 0,3 % в час. Сталь нельзя переокислять, проводить кипение при высокой температуре. Алюминий для предварительного раскисления следует вводить в глубь ванны на штанге.

Раковины в чугунных отливках от окиси углерода. Чугун можно считать самораскисляющимся материалом, так как в нем содержится много кремния. В чугуне в 4–5 раз меньше кислорода, чем в стали. Несмотря на это, брак, представляющий собой дефекты, вызванные наличием оксида углерода в чугунных отливках, – довольно частое явление. Затвердевшие брызги с окисленной поверхностью способствуют возникновению раковин с блестящей неокисленной поверхностью (рис. 17.69).



Рис. 17.69. Газовые раковины от брызг металла

Их величина зависит от размеров брызг. Жидкий металл, соприкасаясь с поверхностью сырой формы, особенно переувлажненной, как бы вскипает, образуя брызги. Как правило, в этом случае образуются мелкие брызги и, соответственно, небольшие газовые раковины.

Ржавые холодильники, жеребейки, литейные гвозди, арматура и другие металлические предметы вызывают образование газовых раковин. Внешние холодильники формируют грубую поверхность под воздействием выделяемых газов.

На практике имели место случаи получения негерметичных отливок корпуса холодильного компрессора из-за использования ржавых литейных гвоздей (рис. 17.70).

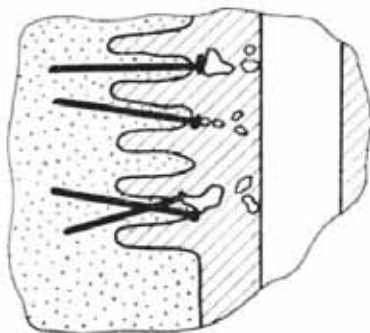


Рис. 17.70. Раковины от литейных гвоздей

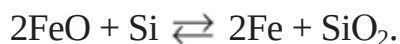
Металлические части формы, соприкасающиеся с жидким металлом, должны быть омеднены или покрыты оловом. Цинкование не рекомендуется из-за низкой температуры кипения цинка. Жеребейки должны устанавливаться чистыми (не в масле) руками.

Холодильники можно окрашивать красками на олифе и затем высушивать в течение 8 ч при 230 °С. Можно холодильники окрашивать краской, состоящей из 92 % молотого ферросилиция и 8 % буры с мелясой. Краску просушивают на воздухе одни сутки или быстро подсушивают при нагреве. Такие холодильники не вызывают отбела в чугунных отливках и обеспечивают чистую поверхность.

Покрытие чугунных холодильников алюминиевой краской не рекомендуется, так как на отливке получается грубая поверхность.

Много дефектов, вызываемых наличием оксида углерода, появляется при *низкой температуре заливки окисленного чугуна*. Это относится по всем видам чугуна, но особенно к ковкому и модифицированному. Литейщикам хорошо известно, как трудно получить качественные отливки из чугуна с низкой степенью эвтектичности. Серый чугун со степенью эвтектичности, близкой к единице, — самораскисляющийся. В интервале 1350–1480 °С активным раскислителем является кремний, и поэтому в чу-

гуне мало FeO. Раскисление кремнием не связано с выделением газов



На рис. 17.71 показан результат статистического анализа влияния кремния на количество газовых дефектов в отливках чугуновых дисков массой 60 кг, изготовленных в сухих формах. При содержании кремния меньше 1,2 % качество отливок из чугуна СЧ30 резко ухудшается.

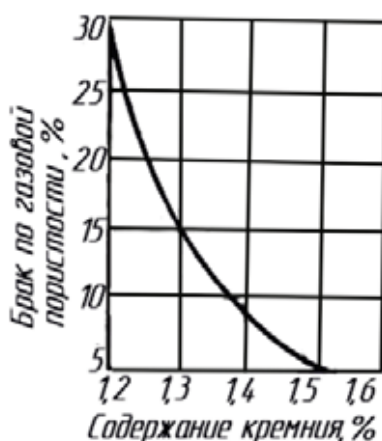


Рис. 17.71. Влияние содержания кремния на количество дефектов в отливках маховиков

Любая причина, приводящая к окислению чугуна, увеличивает газовые раковины в отливке. 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; использование крупных и плотных стальных отходов, которые плавятся в окислительной зоне вагранки.

Неправильно поддерживать низкую температуру в тигле индукционной печи, так как железо активно окисляется и образует много шлака, насыщающего расплавленный металл FeO. При температуре выше 1350 °С железо окисляется меньше. Если в шихте преобладают отходы малоуглеродистой стали, то из-за низкого содержания в ней углерода, кремния и марганца железо сильно окисляется и содержание FeO в металле и шлаке увеличивается. Для снижения угара элементов рекомендуется быстро нагревать шихту в индукционной печи до 1350 °С.

Сильно окисленный расплавленный металл получается при плавке в индукционной печи листовых стальных отходов. Предварительный подогрев шихты для удаления влаги при использовании мелких отходов может иметь отрицательный результат. На рис. 17.72 показано влияние толщины

листовой стали на количество оксида железа, вносимого в шихту при предварительном нагреве природным газом.

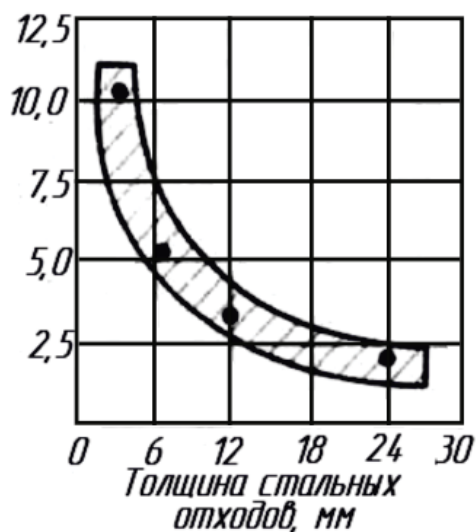


Рис. 17.72. Влияние толщины стальных отходов на образование в них при нагреве оксидов железа

По литературным данным, пористость отливок из ковкого чугуна, полученных в кислой дуговой печи, уменьшается, если ввести в расплав ферросилиций и алюминий, остаточное количество которых должно составлять около 0,01 %. Но в этом случае возникает опасность появления водородной пористости.

Большое сосредоточение газовых раковин, вызванных наличием оксида углерода в верхних частях отливок из высокопрочного чугуна объясняется всплыванием глобул графита. Обработка чугуна, модифицированного магнием в ковше, криолитом, полевым шпатом, содой улучшает качество отливок.

Большие газовые раковины получаются при попадании в отливку шлаковых включений, содержащих FeO. Ваграночные шлаки при правильном ведении плавки редко вызывают такие дефекты. Они имеют большую вязкость и хорошо отделяются в ковше или улавливаются литниковой системой. Кроме того, они содержат мало окиси железа. Их химический состав: $\text{SiO}_2 = 55 \div 60 \%$; $\text{CaO} + \text{MgO} = 30 \div 40 \%$; $\text{FeO} + \text{MnO}$ — менее 15 %.

На качество отливок влияют шлаки, которые образуются в литейном ковше при охлаждении расплавленного металла. Об их формировании можно судить, наблюдая за поверхностью расплавленного чугуна. После съема шлака поверхность расплава чистая. С понижением температуры начинают появляться пятна вторичного шлака, выделяющегося из металла и состоящего в основном из SiO_2 . Его количество

увеличивается и покрывает поверхность металла тонким слоем. С понижением температуры в шлаке увеличивается содержание FeO. Особенно много шлака отделяется от окисленного жидкого металла. Шлак содержит: $30 \div 50 \text{ \% FeO} + \text{MnO}$; $40 \div 50 \text{ \% SiO}_2$; $10 \text{ \% CaO} + \text{MnO}$; $3 \div 10 \text{ \% MnS}$.

Несмотря на небольшое содержание MnS, его влияние на свойства шлака очень большое. Так, фаялит с $10 \text{ \% MnS}$ понижает температуру плавления до $1060 \text{ }^\circ\text{C}$, т. е. температура плавления такого шлака ниже температуры кристаллизации чугуна. Шлаки, богатые сульфидом марганца, имеют низкую вязкость, высокую жидкотекучесть и легко попадают в отливку, внося с собой окись железа, восстанавливающуюся до окиси углерода. Реакция восстановления протекает даже после кристаллизации металла. Доказательством этого служит обезуглероживание поверхности газовых раковин.

На рис. 17.73 показаны дефекты от окиси углерода, образовавшейся в результате попадания в отливку из модифицированного чугуна шлака с высоким содержанием MnS. Газовые раковины сгруппированы в отдельные зоны, часто вместе с включениями шлака, имеющего вид замерзшей пены. После снятия с поверхности слоя металла в $1\text{--}2 \text{ мм}$ величина раковин и их число увеличиваются. В некоторых из них находятся частицы шлака. Зачастую включения шлака очень малы и не видны невооруженным глазом. При просмотре под микроскопом рядом с газовыми раковинами видны включения MnS..

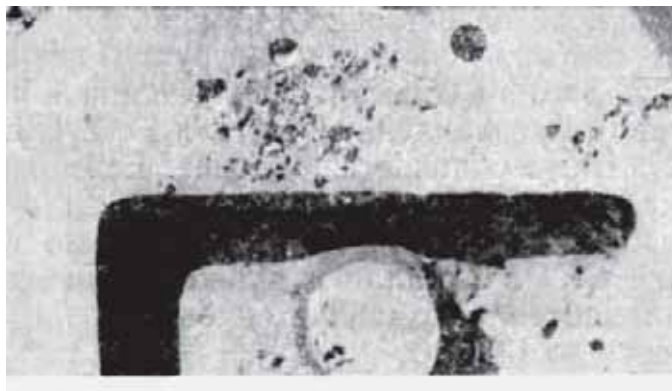


Рис. 17.73. Дефекты, вызванные оксидом углерода, вследствие наличия шлаков, содержащих MnS

Фаялит обычно не виден, так как содержащийся в нем оксид железа восстанавливается до чистого железа. Дефектная зона, обогащенная MnS, определяется пробой по Бауману. На рис. 17.74 показан снимок отпечатка по Бауману. Темные пятна указывают на скопление MnS возле раковин (светлые участки).



Рис. 17.74. Отпечаток по Бауману на дефектной чугуновой отливке (вторичный шлак содержит много MgS)

Газовые раковины, вызванные шлаками с большим содержанием FeO и MnS , обычно расположены в тонком слое верхней части отливки. Иногда их глубина не превышает припуска на механическую обработку.

Описанные дефекты увеличиваются с уменьшением степени эвтектичности чугуна и с увеличением содержания в ней S и Mn . Дефекты уменьшаются, если содержание S и Mn в чугуне соответствует уравнению

$$Mn = 0,3 + 1,7S. \quad (17.4)$$

Некоторые авторы считают, что между Mn и S существует *динамическое равновесие*, зависящее от температуры (рис. 17.75).

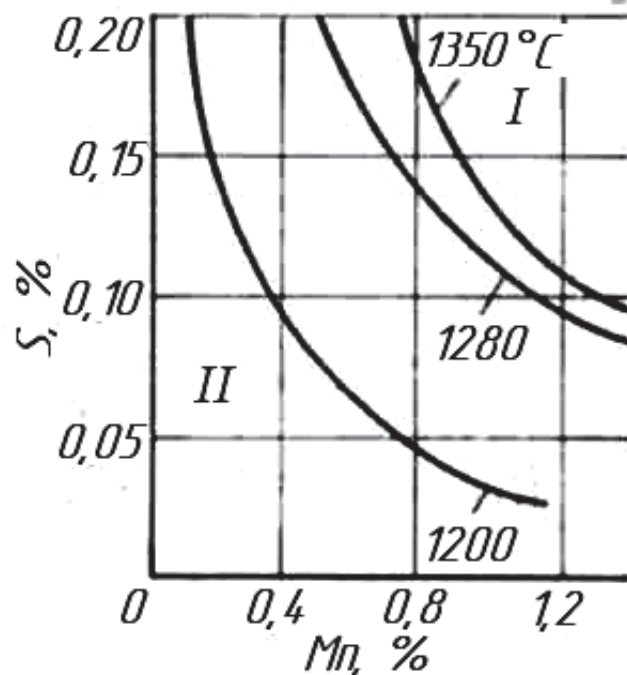


Рис. 17.75. Влияние температуры и содержания Mn и S на появление дефектов в результате наличия MnS

С уменьшением содержания кремния дефекты увеличиваются, особенно когда разница между содержанием Si и Mn становится меньше 0,5 %. В этом случае при плавке чугуна в вагранке и в индукционной печи начинают интенсивно выгорать Mn и Fe.

Эффективным средством предотвращения газовых раковин от оксида углерода, вызванных вторичным шлаком, является *повышение температуры заливаемого металла*. Она должна быть примерно на 50 °С выше температуры, при которой образуются вторичные шлаки, насыщенные FeO. Заливать металл следует быстро. Для уменьшения окисления металла его зеркало следует *засыпать древесным углем*. Ковши должны быть очищены от шлака. Литниковая система должна быть спроектирована с хорошими шлакоуловителями.

Попадание воздуха в полость литейной формы. Воздух, увлекаемый в полость литейной формы, образует газовые раковины, поверхность которых из-за окисления металла имеет синий матовый цвет. Если увлеченные воздушные пузырьки не могут свободно всплыть на поверхность отливки из-за кристаллизации металла, то их форма отличается от сферической. Наиболее часто воздушные раковины образуются на частях отливки, расположенных вблизи питателей. Воздушные пузырьки поступают в отливку с определенной горизонтальной скоростью, а затем всплывают наверх. Если скорость заливки металла большая, то зона расположения воздушных раковин расширяется. Стержни и выступающие части формы влияют на движение жидкого металла и могут изменить расположение раковин (рис. 17.76).

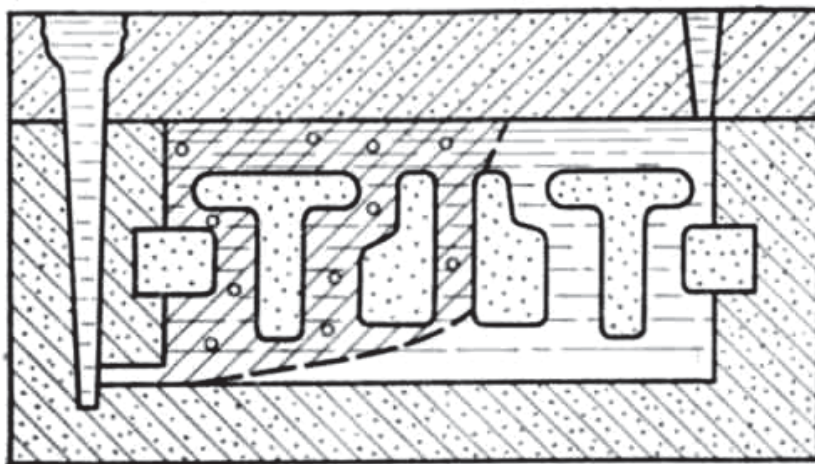


Рис. 17.76. Влияние конструкций литейной формы и стержня на распределение инжесктированных газов в отливке

Инжесктирование воздуха в отливку особенно опасно, если металл быстро образует поверхностную корку, например, для тонкостенных от-

ливок или отливок из стали. В крупных чугунных отливках воздушные раковины могут образоваться при сифонной или этажной заливке, особенно если формы изготовлены из смеси с малой газопроницаемостью. Дефектами обычно поражены верхние части отливки.

При движении в каналах литниковой системы жидкий металл может засасывать воздух из пор формы. Если стенки литниковой системы газонепроницаемы, то засасывания не будет. Наибольшая возможность засасывания воздуха существует в *стояке* и других *вертикальных каналах* литниковой системы. Скорость движения металла в них (без учета сил трения) подчиняется закону свободного падения тела

$$v = \sqrt{2gh}, \quad (17.5)$$

где v – скорость движения жидкого металла, м/с; g – ускорение силы тяжести, м/с²; h – высота падения струи металла, м.

В *цилиндрических высоких стояках* струя металла падает с большой скоростью и может отделиться от стенок стояка. В образованной полости возникает вакуум, способствующий засасыванию воздуха. Рекомендуется выполнять стояк конической формы, сечение которого определяется соотношением

$$F_1 / F_2 = \sqrt{h_2 / h_1}, \quad (17.6)$$

где F_1 и F_2 – площади сечения соответственно верхней и нижней частей стояка; h_1 – высота металла в литниковой чаше (рис. 17.77); h – общая высота стояка с литниковой чашей.

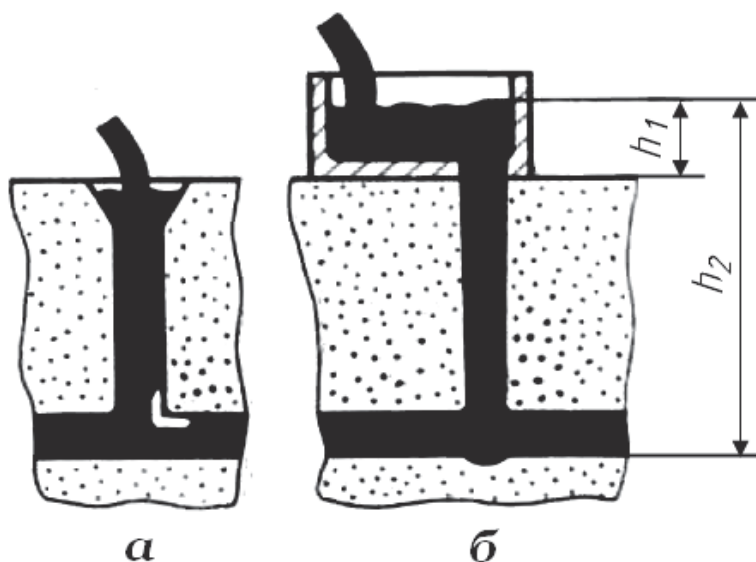


Рис. 17.77. Цилиндрический (а) и конический (б) стояки

Давление металла на стенки стояка показано на рис. 17.78. При малой конусности (рис. 17.78, а) в верхней части стояка при движении металла

возникает вакуум. При средней конусности (рис. 17.78, б) вакуум исчезает, и при большой конусности (рис. 17.78, в) воздух не засасывается в жидкий металл. Правильная конструкция стояка не предотвращает засасывание воздуха, если в форме выполнены острые грани элементов литниковых систем. Плавное соединение стояка со шлакоуловителем и питателями уменьшает засасывание воздуха (рис. 17.79).

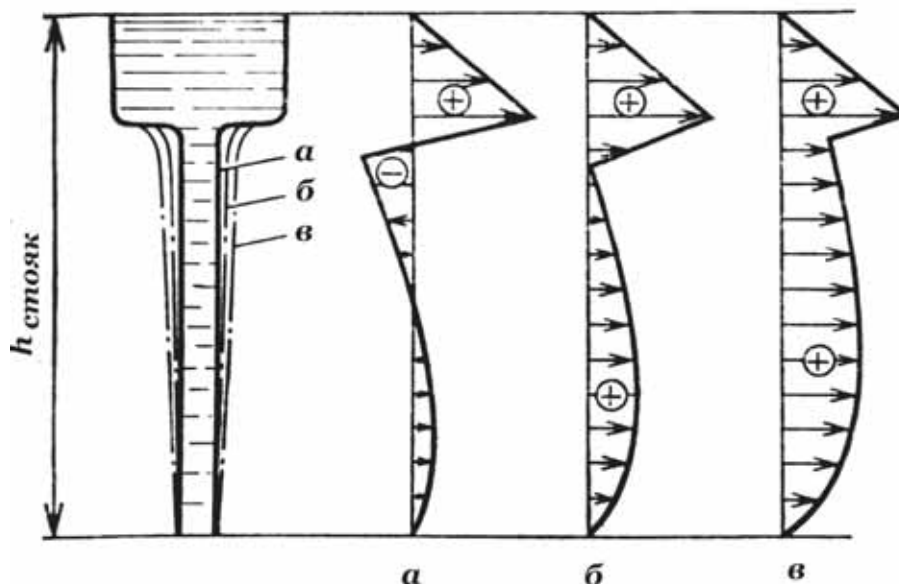


Рис. 17.78. Зависимость давления металла на стенки формы от конусности стояка

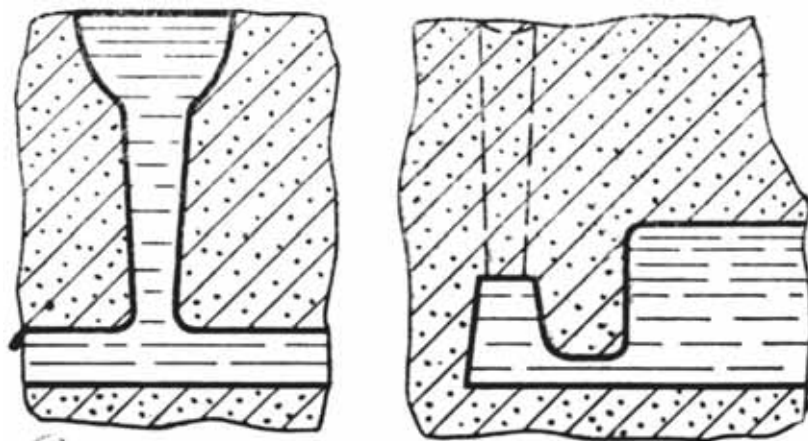


Рис. 17.79. Оформление переходов между стояком, шлакоуловителем и питателем

Литниковую систему необходимо быстро заполнять металлом и держать ее полной до окончания заливки. Закрытая литниковая система наиболее оптимальна.

Воздух инжектируется в форму при заливке металла в нижнюю часть полости формы, особенно при неправильной конструкции литниковой системы или недостаточной квалификации заливщика. На рис. 17.80 показана схема заливки высокой детали в вертикальном положении. Это следует делать с максимальной скоростью. Такой способ заливки часто приводит к захватыванию воздуха (рис. 17.80, *а*). В этом случае рекомендуется использовать *дождевую* литниковую систему (рис. 17.80, *б*).

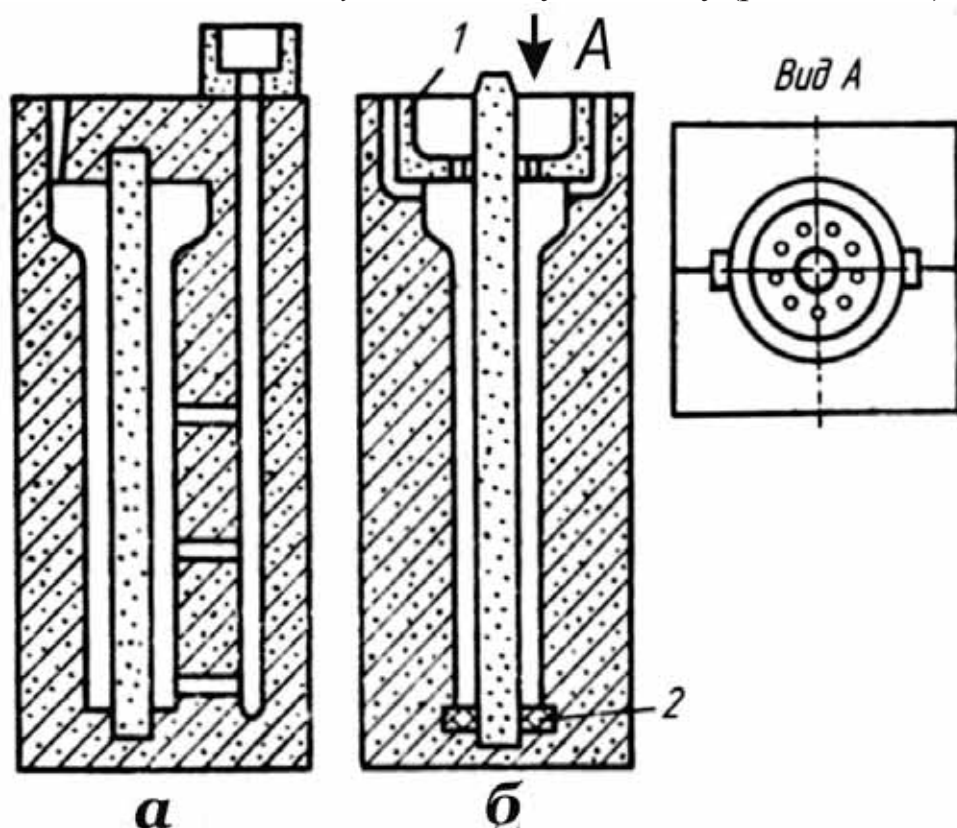


Рис. 17.80. Заливка колонны машины: *а* — нижний подвод металла; *б* — дождевая заливка; 1 — литниковая чаша; 2 — шамотный кирпич

Газы, выделяемые формой при заливке и отверждении металла.

Такие газы образуются в результате:

- испарения воды;
- сгорания органических компонентов смеси;
- термодеструкции органических компонентов смеси;
- диссоциации выделяющихся газов;
- выделения гидратной воды из минеральных примесей;
- разложения некоторых минеральных примесей;
- расширения воздуха в полости формы и в ее порах.

Количество газов может быть различно. Данные об этом приведены в табл. 17.13.

Таблица 17.13

Количество газов, выделяемых различными источниками

Источник	Количество газов в форме, %		
	сырой	сухой	оболочечной
Испарение влаги из смеси	50–60	8–12	3–5
Сгорание органических веществ	2–3	5–8	2–10
Термодеструкция органических веществ	30–40	45–65	80–90
Разложение минеральных примесей	1–5	1–5	1–2
Расширение воздуха	До 0,5	До 1	До 0,5
Диссоциация газов	6–10	8–12	10–15

Большое влияние на появление дефектов оказывает испарение влаги в сырых или недостаточно высушенных формах и стержнях. Количество влаги в объемно-высушенных формах для крупных и ответственных отливок не должно превышать 0,5 %. При поверхностной подсушки толщина слоя с влагой 0,5 % должна быть такова, чтобы парообразование нижележащих слоев сырой формы начиналось не раньше, чем образуется корка металла толщиной не менее 2 мм (для чугунных отливок). Для чугунных отливок, заливаемых при 1300 °С, рекомендуют подсушивать форму на следующую глубину (табл. 17.14).

Таблица 17.14

Время сушки форм

Вид отливок	Время заливки, мин	Толщина слоя, мм
Мелкие	До 0,25	8–12
	0,25–0,50	2–17
Средние	0,50–0,75	17–23
	0,75–1,0	23–30
Крупные	1,00–1,5	30–36
	1,50–2,0	36–42

Время сушки форм зависит от влагосодержания смеси. С экономической точки зрения выгодно вести поверхностную подсушку форм с минимальным содержанием влаги в смеси. Нанесение водяных красок увеличивает влагосодержание смеси, что необходимо учитывать при определении цикла сушки.

При извлечении форм или стержней из сушил с температурой выше температуры окружающей среды испарение влаги из них продолжается и толщина высушенного слоя увеличивается (рис. 17.81). При выдержке форм перед заливкой часть влаги из-за капиллярных явлений проникает в высушенный слой. Это не влияет на качество от-

ливок, если форму заливают в тот же день, когда ее высушили.

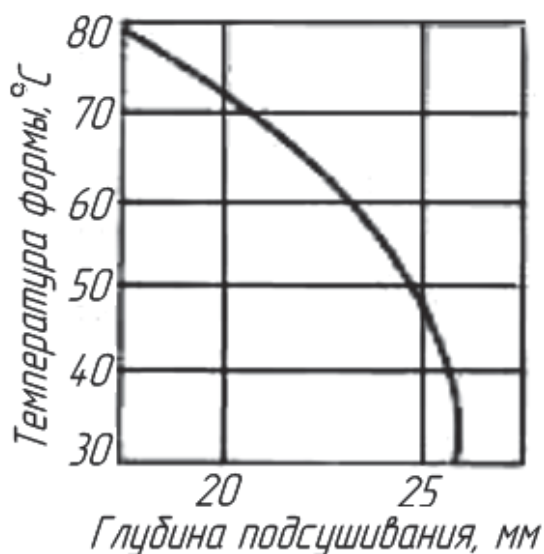


Рис. 17.81. Изменение влажности в подсушенной форме после ее извлечения из сушила

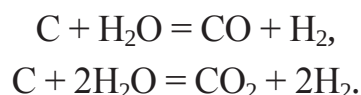
Газовые дефекты возникают в формах из *быстротвердеющих смесей* с большим количеством жидкого стекла. Рекомендуется при изготовлении ответственных отливок формы и стержни подсушивать. В еще большей степени это относится к формам из жидкоподвижных смесей с жидким стеклом и феррохромовым шлаком, в которых высокое содержание влаги. Сушка таких форм может продолжаться 3–4 ч.

Продолжительное хранение форм и стержней, изготовленных с гигроскопическими связующими, увеличивает опасность возникновения газовых раковин, например, влажность сухих стержней диаметром 25 мм, полученных из смеси с сульфитным щелоком, после четырехчасовой выдержки в сырой форме увеличивается до 1 %.

Наиболее гигроскопичны такие гидрофильные связующие вещества, как жидкое стекло, декстрин, меласса, сульфитный щелок и др. Изготовленные с ними формы и стержни после продолжительного хранения должны подсушиваться. Стержни, полученные по нагреваемой оснастке с фурановыми и фенольными смолами так же, как и по холодной оснастке, не насыщаются влагой от воздуха. Окрашивание таких форм и стержней водными красками повышает их влагосодержание.

Сгорание органических веществ формы при заливке металла не вызывает большого выделения газов, так как в форме мало кислорода. Исключение составляют сырые формы, в которых углерод органических ве-

ществ окисляется водяным паром



Количество выделяемых газов при окислении водяным паром значительно больше, чем при прямом окислении кислородом воздуха.

Термодекструкция органических веществ в форме происходит без доступа кислорода, при этом образуются вода, оксиды углерода, водород, азот, углеводороды и другие органические вещества. Их количество зависит от содержания в форме связующих материалов. Использование высококачественных связующих материалов, которые позволяют получить высокие прочности при малом содержании влаги, улучшает качество отливок.

На качество отливок влияет не только *газотворность смеси*, но и *динамика выделения газов*. Чем меньше скорость выделения газов, тем больше возможность их вывода из формы в атмосферу. На рис. 17.82 показана газотворная способность связующих и динамика выделения газов.

При термодеструкции некоторых органических веществ выделяются газообразные углеводороды, которые диссоциируют с выделением больших количеств газа. Так, например, метан разлагается ($\text{CH}_4 = \text{C} + 2\text{H}_2$) и выделяет много газа, который увеличивает газовое давление в форме.

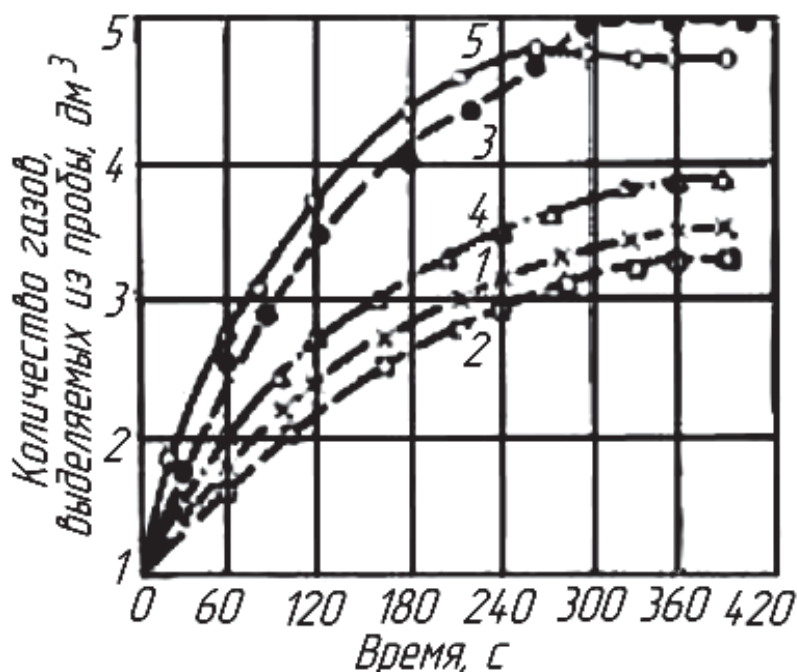


Рис. 17.82. Газотворная способность смеси, содержащей органические связующие вещества: 1, 2, 3 — фурановая смола соответственно ФФ-ФМ, ФФ-1, М19 с 40 % фурфуролового спирта; 4, 5 — связующие соответственно БС70, 107-1М

При разложении слюды, гидратов железа, присутствующих в глине или бентоните, выделяется гидратная вода. При разложении минеральных примесей (известняк, доломит, магнезит и др.) выделяется углекислый газ. Его количество невелико, но может оказать вредное действие, если эти примеси попадут на границу металл–форма. Так, например, 1 кг CaCO_3 выделяет $224000 \text{ см}^3 \text{ CO}_2$.

Воздух, находящийся в форме, при нагревании расширяется и может образовывать газовые раковины при малой газопроницаемости формы.

Склеивание литейных стержней – ответственная операция, нарушение которой может привести к образованию газовых раковин. Обыкновенный клей требует тщательного высушивания. Особенно много дефектов возникает от склеенных стержней в отливках сложных двигателей внутреннего сгорания. Клеи на основе термопластичных смол, нанесенные на горячие стержни, выделяют мало газов.

Количество и скорость выделения газов из литейной формы можно уменьшить за счет оптимальной технологии изготовления форм и стержней. Для этого следует применять смеси с высокой газопроницаемостью, выполнять качественную вентиляцию форм и стержней, не переуплотнять форму при изготовлении и т. д. На рис. 17.83 показаны газовые дефекты в отливке чугуна втулки, образовавшиеся от затрудненного отвода газов из стержня в области теплового узла. Острые ребра стержней активно выделяют газы, а поскольку в таких местах металл затвердевает медленно, опасность появления газовых дефектов увеличивается. Необходимо скруглять острые углы стержней и улучшать их вентиляцию.

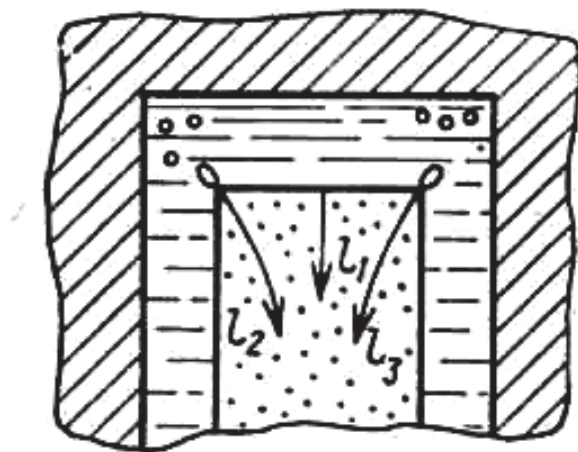


Рис. 17.83. Газовые дефекты в чугунной втулке

Исправлять стержни следует аккуратно. Отбившиеся куски приклеивают с таким расчетом, чтобы не нарушить отвода газов (рис. 17.84).

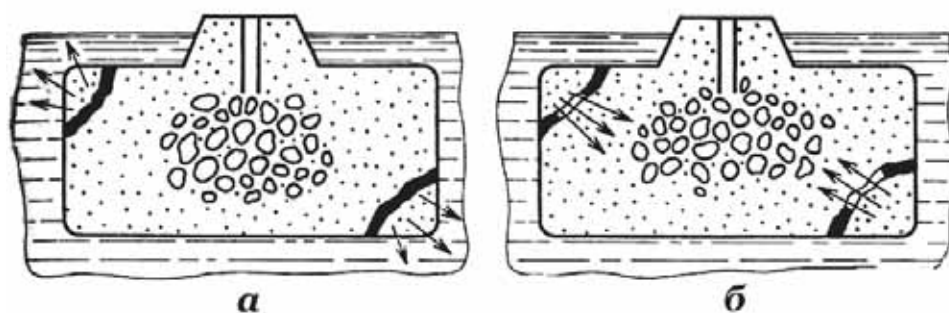


Рис. 17.84 . Исправление дефектного стержня: а – неправильное; б – правильное

При конструировании отливок следует обращать особое внимание на полости, оформляемые стержнями. Чем меньший объем стержней залива-
ется металлом, тем легче отвести от них газы. На рис. 17.85 приведено не-
сколько примеров правильного и неправильного оформления стержнями
полости отливки.

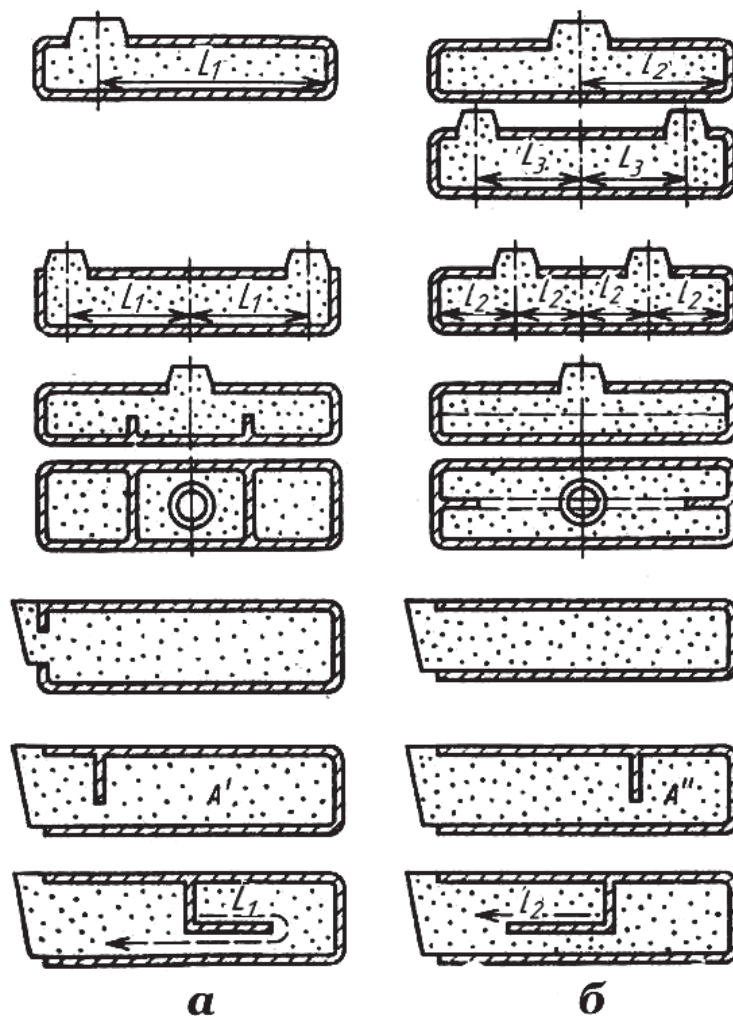


Рис. 17.85. Влияние конструкции отливки на отвод газов:
а – неправильное; б – правильное

Наиболее трудно выполнить вентиляцию в тонких протяженных стержнях, применяемых, например, в отливках блока цилиндров. Значительная часть таких стержней обливается металлом. Для того чтобы отвести большой объем образующихся газов, необходимо иметь высокую газопроницаемость стержней. При окрашивании стержней проникновение газа в металл уменьшается. С другой стороны, краска увеличивает газотворность. Поэтому такие стержни рекомендуется покрывать красками, проникающими на малую глубину с дополнительной подсушкой.

Следует предусматривать такую конструкцию формы, чтобы при ее заливке металл не перекрывал вентиляционные каналы. Наименьшее давление газов в форме получается, если знаки стержней находятся в верхней части формы. Улучшения газового режима при расположении знаков в нижней части формы можно достигнуть заливкой формы в наклонном положении (рис. 17.86).

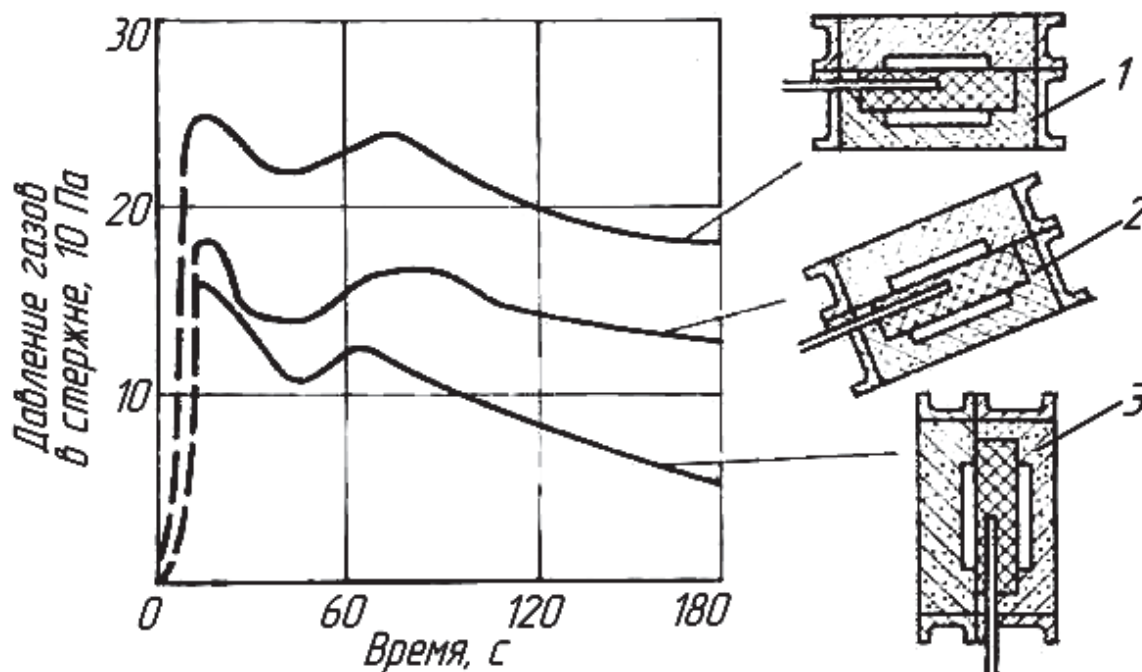


Рис. 17.86. Изменение давления газов в форме после ее заливки:

1 — горизонтально; 2 — под наклоном; 3 — вертикально

Большие стержни рекомендуется изготавливать полыми. Это улучшает их высушивание и отвод газов, образующихся при заливке металла. Высокая газопроницаемость форм и стержней, изготовленных из самотвердеющих смесей с фурановым связующим, облегчает отвод образующихся газов. Стержни из таких смесей можно изготавливать полыми с помощью полиэтиленовых пакетов или вводить в смесь отходы полистирола.

32. Ситовидная раковина – дефект в виде удлиненных тонких раковин, ориентированных нормально к поверхности отливки, вызванных повышенным содержанием водорода в кристаллизующемся слое (рис. 17.87). Образование ситовидных раковин разобрано в пункте 31 данного раздела.



Рис. 17.87. Ситовидные раковины в сечении стальной отливки

33. Усадочная раковина – дефект в виде открытой или закрытой полости с грубой, шероховатой, иногда окисленной поверхностью, образовавшейся вследствие усадки при затвердевании металла (рис. 17.88).

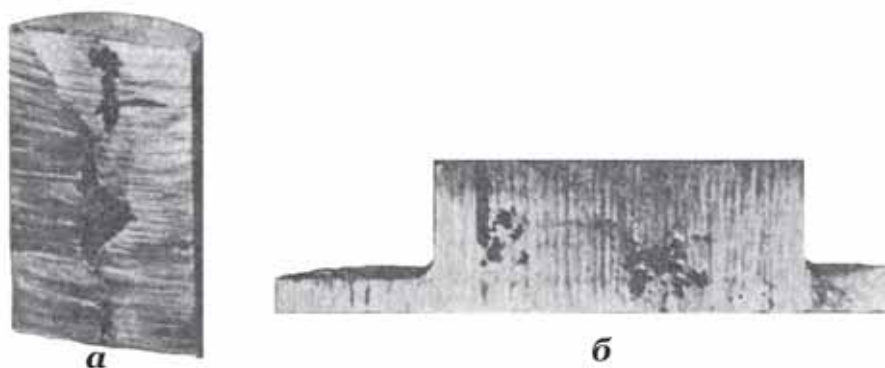


Рис. 17.88. Концентрированная (а) и рассеянные (б) раковины

Объемная усадка приводит к образованию в отливках концентрированных и рассеянных усадочных раковин. Их внешний вид показан на рис. 17.88, а, б.

Внешние усадочные раковины обнаруживаются визуально после очистки отливок, внутренние – при механической обработке отливок или в процессе эксплуатации деталей в связи с их недостаточной герметичностью или разрушением. Ответственные отливки проверяют на наличие усадочных раковин ультразвуком или рентгенодефектоскопией. Усадочные раковины легко отличить от газовых по состоянию поверхности. Поверхность газовых раковин – гладкая, ровная; поверхность усадочных раковин – неровная с острыми кристаллами первичного аустенита, образовавшимися при кристаллизации с недостаточным питанием жидким металлом.

Усадочные раковины образуются в большинстве металлов и сплавов. Это является следствием того, что термический коэффициент объемной усадки жидкого и кристаллизующегося металла больше, чем твердого остывающего металла. На рис. 17.89 показаны этапы кристаллизации чистого железа в отливке, имеющей форму куба. На нижней части рисунка показаны изменения температуры металла от момента заливки (рис. 17.89, а) до окончательной кристаллизации (рис. 17.89, д).

После заливки металл имеет температуру заливки t_3 . В некотором интервале времени металл остается в жидком состоянии. При охлаждении металла его объем уменьшается и образуется свободный объем С.О. (рис. 17.89, б). Величина С.О. тем больше, чем выше температура заливки t_3 , температура кристаллизации t_K и чем больше коэффициент объемной усадки. Следующий этап охлаждения приводит к образованию твердой корки металла (рис. 17.89, в). Начало кристаллизации является начальным моментом образования усадочной раковины. Оставшийся под затвердевшей коркой жидкий металл уменьшает свой объем при кристаллизации больше, чем затвердевший слой, и поэтому образуется *усадочная раковина* (рис. 17.89, з, д). Расположение раковин показано на рис. 17.89, д в геометрическом центре отливки. В действительности усадочная раковина располагается в той части отливки, которая затвердевает последней.

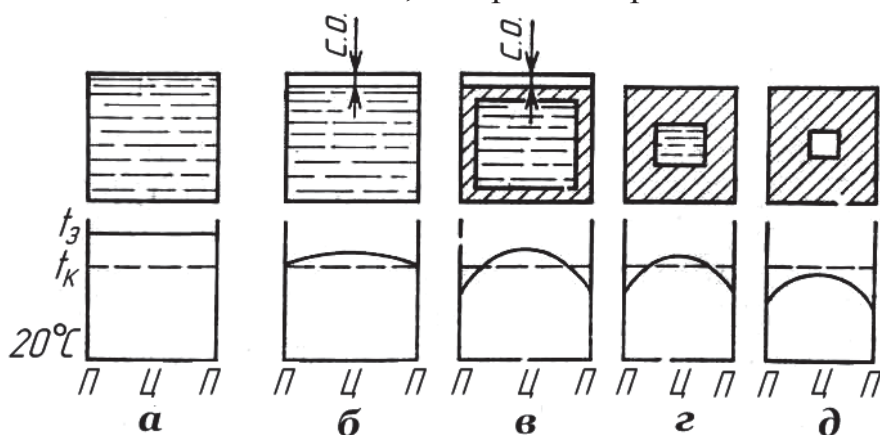


Рис. 17.89. Этапы образования раковины в отливке из железа:
П – периферия; Ц – центр

Значительно сложнее механизм образования усадочных раковин в металле, кристаллизующемся в некотором температурном интервале. На рис. 17.90 показаны последовательные этапы кристаллизации стали и ковкого чугуна, где t_L и t_C – соответственно температуры ликвидуса и солидуса. Так же, как и для чистого железа, в данном случае пока металл находится в жидком состоянии, его усадка приводит к образованию свободного объема (рис. 17.90, а, б).

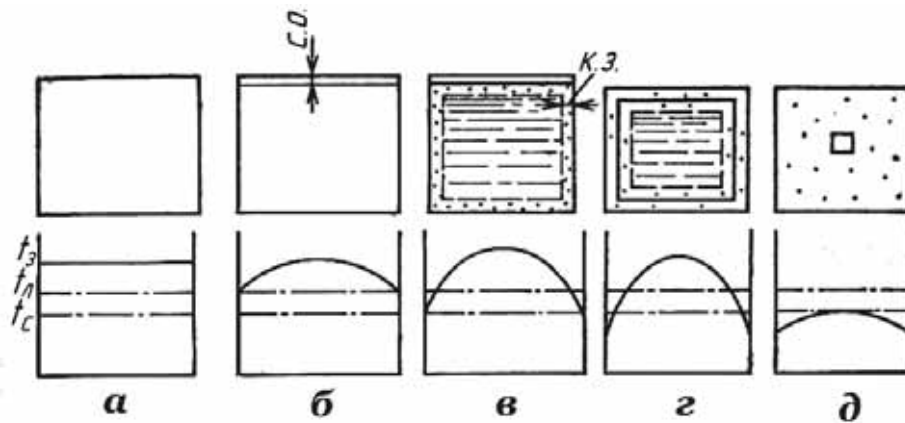


Рис. 17.90. Этапы образования раковины в отливке из стали

Когда температура поверхностных слоев «пересечет» линию ликвидуса, начинается образование кристаллизационной зоны $K.3$. Образующиеся в интервале между t_K и t_C кристаллы аустенита разрастаются и создают отдельные замкнутые объемы, заполненные жидким металлом. Этот металл, остывая и не имея подпитки, образует микроусадочные раковины, распределенные по всему объему $K.3$ (рис. 17.90, в). На последующем этапе охлаждения в отливке образуется три зоны: зона твердого металла, кристаллизующегося металла и жидкого металла в сердцевине отливки.

В кристаллизующейся зоне продолжается процесс образования микроусадочных раковин, и одновременно создаются условия для образования концентрированной усадочной раковины. Рассмотрев механизм образования усадочных раковин, можно назвать факторы, влияющие на этот процесс.

Первый фактор – различие величин термических коэффициентов $T_{\text{ж}}$, $T_{\text{кр}}$, $T_{\text{тв}}$ (соответственно жидкого, кристаллизующегося и твердого металла)

$$T_{\text{ж}} = n_1 T_{\text{тв}} \text{ и } T_{\text{кр}} = n_2 T_{\text{тв}}, \quad (17.7)$$

где n_1 , n_2 – величины, показывающие, во сколько раз $T_{\text{ж}}$ и $T_{\text{кр}}$ больше $T_{\text{тв}}$.

С увеличением n_1 и n_2 увеличивается склонность металла к образованию усадочной раковины.

Второй фактор – наличие температурного градиента по сечению отливки

$$\Delta t = t_{\text{ж}} - t_{\text{с}}, \quad (17.8)$$

где $t_{\text{ж}}$ – температура жидкого металла внутри отливки в момент образования затвердевшей корки металла на поверхности отливки; $t_{\text{с}}$ – температура солидуса, практически соответствующая температуре поверхностного кристаллизующегося слоя металла.

Чем больше значение Δt , тем, при прочих равных условиях, больше склонность металла к усадочным раковинам.

Большое влияние на образование микроусадочных раковин оказывает склонность металла при затвердевании образовывать разветвленные кристаллы, между которыми остаются микрообъемы жидкого металла. На образование усадочных раковин влияют примеси в сплаве, процесс легирования и модифицирования, степень перегрева жидкого металла, охлаждающая способность формовочных и стержневых смесей и т. д. В одном случае из-за примесей в металле происходят *специфические изменения*, связанные с межатомными взаимодействиями, в другом случае изменяется теплопроводность металла в жидком состоянии и при кристаллизации. Влиянием Δt объясняется различная охлаждающая способность *сырых, сухих, металлических форм*. При большой скорости охлаждения металла в форме увеличивается температурный градиент по сечению отливки, т. е. создается условие для образования усадочной раковины. Тот же фактор действует и при изменении температуры заливки жидкого металла. Высокая температура металла при заливке литейной формы создает повышенный градиент Δt по сечению отливки и, соответственно, большую усадочную раковину. При охлаждении затвердевшего металла и его полиморфных превращениях форма и относительные размеры усадочных раковин не изменяются.

Рассмотренные примеры образования усадочных раковин относятся к железоуглеродистым сплавам, которые кристаллизуются и остывают только с уменьшением объема, т. е. без роста отливок. Рост отливок наблюдается в графитизирующихся сплавах – серых чугунах и чугунах со сфероидальным графитом. Рост чугуна связан с выделением свободного графита. Особенности механизма образования графита и связанных с ним усадочных дефектов следует рассмотреть дополнительно.

Отдельные этапы образования усадочной раковины в серых чугунах эвтектического состава показаны на рис. 17.91.

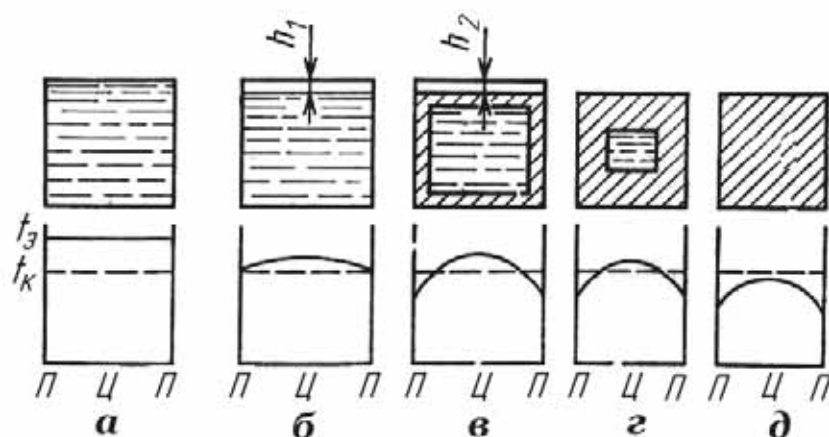


Рис. 17.91. Этапы образования раковины в отливке из серого эвтектического чугуна

В первые моменты охлаждения чугуна свободной объем образуется между зеркалом металла и верхней плоскостью формы. На рис. 17.91, б высота этого объема обозначена h_1 .

При кристаллизации в поверхностном слое протекают процессы с противоположными изменениями объема металла – усадка от понижения температуры и рост от эвтектической кристаллизации жидкий сплав – аустенит – графит). Результирующий эффект этих процессов может привести к положительному или отрицательному изменению объема затвердевшей отливки. При эвтектическом составе чугуна изменение объема зависит от скорости охлаждения отливки. При малой скорости охлаждения положительный эффект графитизации может полностью компенсировать усадочные явления и высота h_2 получится очень незначительной.

Следующие этапы кристаллизации отливки (рис. 17.91, в, г, д) связаны с противоположным действием двух процессов – усадки и роста. В результате этих процессов отливка кристаллизуется без усадочных раковин. Склонность серого чугуна к усадке зависит от содержания в нем углерода. Повышенное содержание углерода (выше эвтектического) изменяет соотношение между усадкой металла и его ростом при графитизации. К положительному эффекту эвтектической графитизации прибавляется эффект от выделения первичного графита. В этом случае создаются условия, при которых компенсируется объемная усадка, и отливка увеличивается в объеме (предусадочное расширение). Чем больше содержание углерода, тем меньше вероятность образования усадочной раковины. В железоуглеродистых сплавах, расположенных левее точки С (область доэвтектических чугунов), содержание углерода недостаточно для образования фаз, компенсирующих объемную усадку (рис. 17.92).

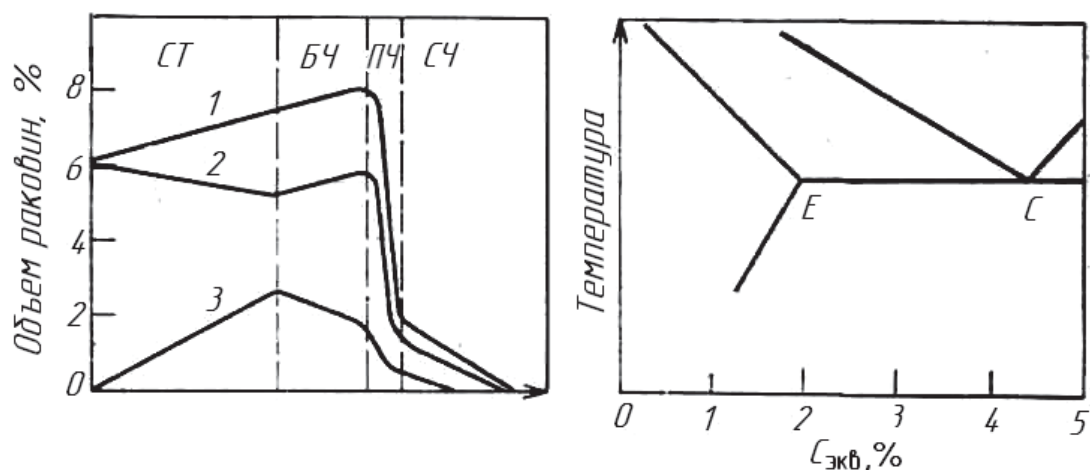


Рис. 17.92. Влияние углеродного эквивалента $C_{экв}$ на образование раковин в железоуглеродистых сплавах: 1 – общий объем раковин; 2 – объем концентрированной раковины; 3 – объем рассеянных раковин

Вертикальные линии разделяют области сталей *СТ*, белых *БЧ*, половинчатых *ПЧ* и серых *СЧ* чугунов. Различная величина объемной усадки разных сплавов заставляет в отдельных случаях изменять конструкцию литейной формы.

Механизм образования усадочной раковины в чугунах с шаровидным графитом связан с особенностями эвтектической графитизации. Магний сфероидизирует графитовые включения и уменьшает скорость их образования.

Замедленная эвтектическая кристаллизация проходит как по стабильному, так и по нестабильному вариантам диаграммы железо–углерод с образованием отбела. Образующийся цементит нестабилен и при повышенном содержании кремния разлагается на аустенит и графит. Иными словами, в чугунах с шаровидным графитом *графитовая фаза* образуется непосредственно из жидкого металла, а также путем распада цементита. Своеобразие такой графитизации сказывается на образовании рассредоточенных и концентрированных усадочных раковин. Это своеобразие проявляется не только в уменьшении величины роста металла при графитизации (расплав $\rightarrow$ аустенит + графит), но и в значительном расширении затвердевающих слоев отливки, величина которого составляет 0,6–1,2 %. Поэтому чугун с шаровидным графитом имеет *повышенную склонность* к образованию усадочной раковины (рис. 17.93). Процесс кристаллизации чугуна с шаровидным графитом во многом зависит от его состава и условий охлаждения.

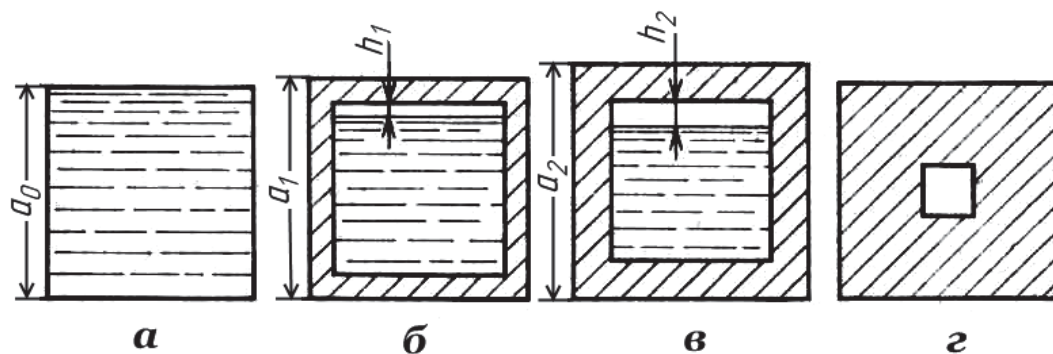


Рис. 17.93. Этапы образования раковины в чугуне, содержащем шаровидный графит

Графитизирующие факторы (медленное охлаждение, повышенное содержание углерода, кремния и т. д.) повышают относительную долю реакции расплав $\rightarrow$ аустенит + графит при кристаллизации. Это умень-

шает величину начального расширения и увеличивает рост графита при эвтектической реакции. В целом склонность чугуна к образованию усадочной раковины уменьшается (рис. 17.94 и рис. 17.95).

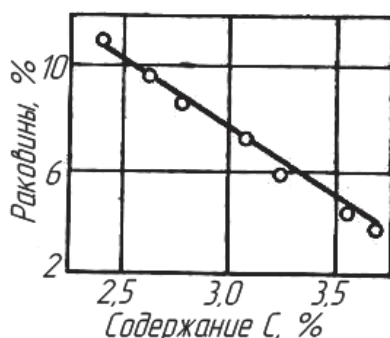


Рис. 17.94. Влияние содержания углерода на объем раковины в чугуне с шаровидным графитом

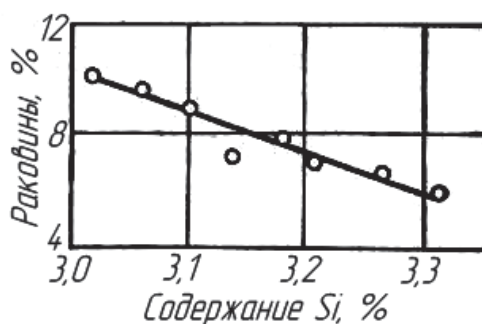


Рис. 17.95. Влияние содержания кремния на объем раковины в чугуне с шаровидным графитом

Факторы, препятствующие графитизации (повышенное содержание магния, высокая скорость охлаждения и др.), имеют обратное действие. Они увеличивают относительную часть кристаллизации по метастабильной системе и, как следствие, повышают склонность чугуна к образованию усадочных раковин (рис. 17.96).

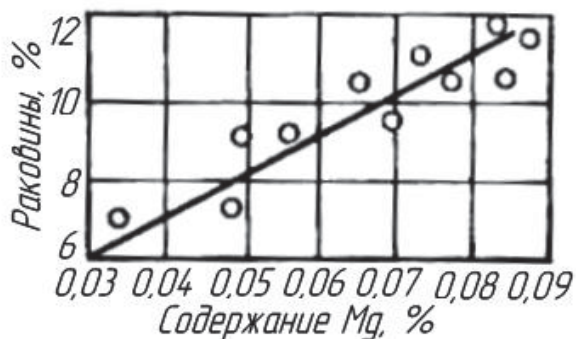


Рис. 17.96. Влияние содержания магния на объем раковины в чугуне с шаровидным графитом

Максимальный объем рассредоточенных усадочных раковин на границе между сталью и белым чугуном (рис. 17.92) является результатом широкого интервала кристаллизации. В области белых чугунов объем усадочных раковин уменьшается в результате частичной графитизации. Чем больше степень графитизации, тем меньше объем усадочной раковины.

Железоуглеродистые сплавы, особенно низкоуглеродистые стали, белый чугун и чугун с шаровидным графитом, проявляют особую склонность к образованию внешних утяжин (рис. 17.97).

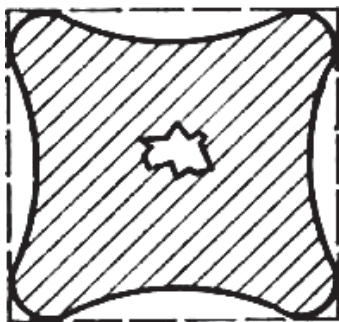


Рис. 17.97. Расположение внутренней и внешней раковин

Образование утяжин вызвано разрежением газовой фазы во внутренней усадочной раковине. Исследования показали, что чем больше объем усадочной раковины, тем больше в ней разрежение, искажающее форму отливки (рис. 17.98).

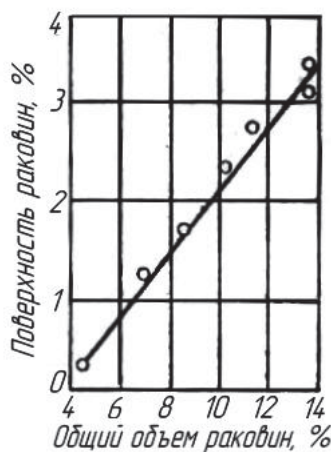


Рис. 17.98. Влияние общего объема раковин на поверхность раковин

На образование усадочной раковины оказывают влияние примеси в металле, особенно фосфор. В сером чугуне содержание фосфора достигает 0,3–0,4 %. Фосфор образует с железом и углеродом *легкоплавкую тройную фосфидную эвтектику* ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C} - \text{Fe}_3\text{P}$), кристаллизующуюся при 950 °С. Из этого следует, что отдельные микроучастки отливки, за-

нятые фосфидной эвтектикой, остаются в жидком состоянии после кристаллизации основы отливки. При кристаллизации эвтектики ее объем уменьшается, и образуются микроусадочные поры (рис. 17.99).

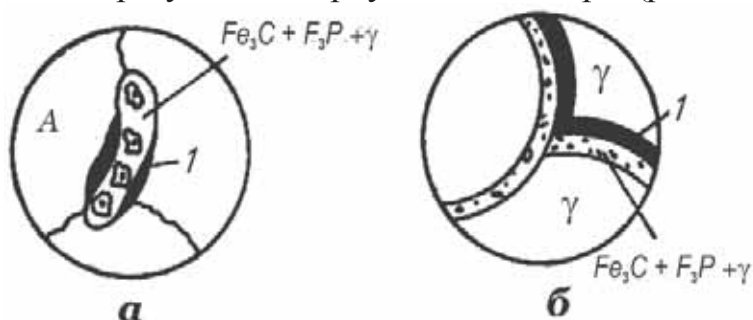


Рис. 17.99. Расположение микрораковин в чугунах с пониженным (а) и с повышенным (б) содержанием фосфора: 1 – микрораковина; А – аустенит; γ – раствор углерода в γ -железе

При низком содержании фосфора микропоры разобщены и не влияют на герметичность отливок. При высоком содержании фосфора создаются условия для соединения микроусадочных пор (рис. 17.99). Отливки получаются негерметичными. При наличии в чугуне фосфора образуется *микропористость*, фосфидная эвтектика усиливает predisposing расширение отливки. Присутствие жидкой фазы в виде фосфидной эвтектики после графитизации при 1050–1145 °С способствует росту отливок в результате реакции цементит → аустенит + графит. При содержании в чугуне 0,1–0,2 % фосфора начальное расширение чугуна составляет 0,6–1,2 %, при 0,6–0,7 % фосфора – 1,5–2,2 %. Такое *большое начальное расширение* увеличивает и без того высокую склонность чугуна с шаровидным графитом к образованию усадочных раковин. Общий объем усадочных раковин (рис. 17.100) может достигать 16 %.

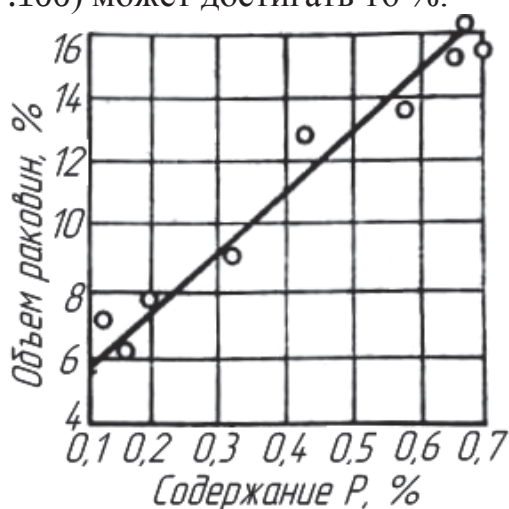


Рис. 17.100. Влияние содержания фосфора на суммарный объем раковин в чугуне с шаровидным графитом

Высокая склонность чугуна с шаровидным графитом и высоким содержанием фосфора к образованию усадочных раковин создает большие, часто неразрешимые трудности при получении качественных плотных отливок.

Следует иметь в виду, что сама *графитовая фаза* является *источником пористости*. Связь графита с составляющими металла – ферритом, аустенитом или цементитом – очень слабая. Пористость графитовых включений усугубляется различными величинами коэффициентов термического расширения (табл. 17.15).

Таблица 17.15

Коэффициент термического расширения составляющих чугуна

Фаза	Графит	Аустенит	Феррит	Цементит
Коэффициент термического расширения, $K \cdot 10^{-6}$	8,0	23,0	14,5	12,5.

Неравномерное изменение размеров отдельных фаз при нагреве и охлаждении уменьшают плотность графитовых включений. Графитовой пористостью можно пренебречь, если включения графита изолированы друг от друга (рис. 17.101, *а*). Это характерно для чугунов с малым содержанием углерода. В эвтектических чугунах графитовые включения перекрещиваются, что сказывается на герметичности отливок (рис. 17.101, *б*). Такие отливки нельзя термообрабатывать в соляных ваннах. Соляной расплав проникает в металл по графитовым включениям, и металл корродирует.

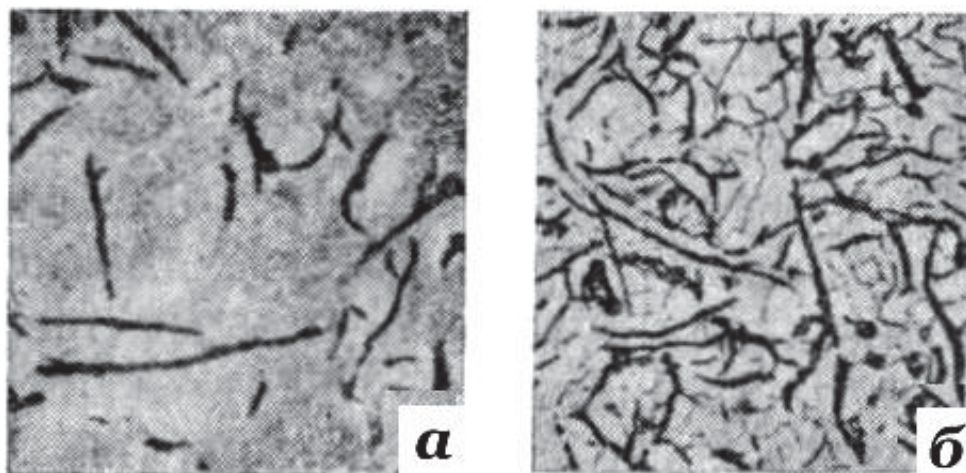


Рис. 17.101. Микроструктура с изолированными (*а*) и с соединенными (*б*) графитовыми включениями

Способы устранения или сведения к минимуму числа усадочных раковин можно объединить в две группы. В первую группу входит *комплекс*

воздействий на жидкий металл, который создает условия для одновременной кристаллизации во всех направлениях, например с помощью холодильников (рис. 17.102). Одновременная кристаллизация происходит также при заливке металла с допустимо низкой температурой.

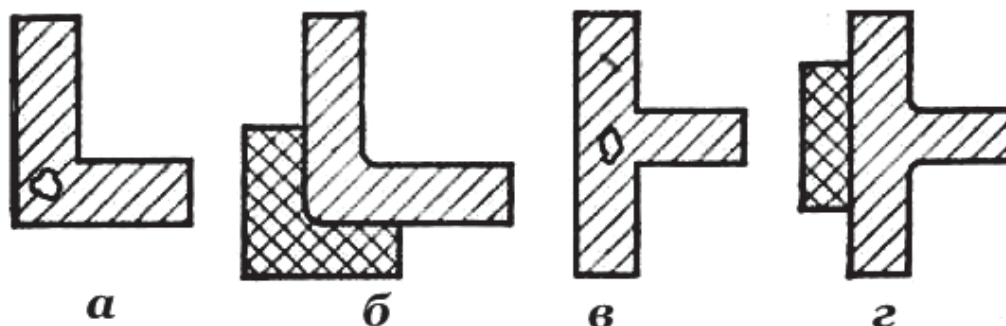


Рис. 17.102. Использование холодильников для предупреждения образования концентрированных раковин: а, в — без холодильников; б, г — с холодильниками

Вторая группа методов относится к толстостенным отливкам и отливкам с различной толщиной стенок. В этих методах использован принцип направленной (последовательной) кристаллизации (рис. 17.103).

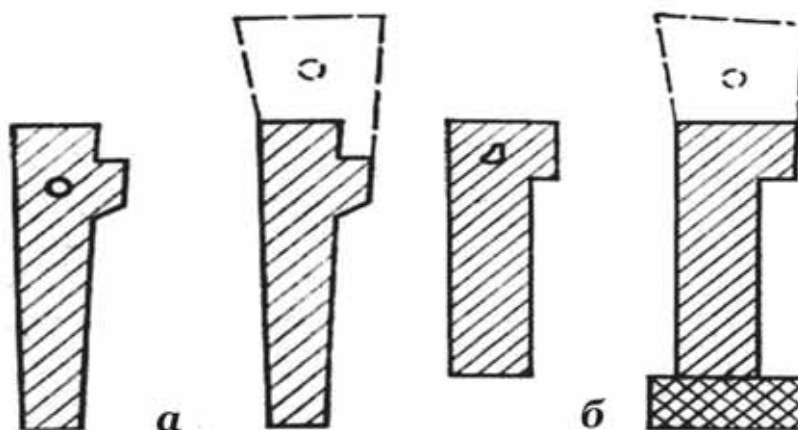


Рис. 17.103. Использование холодильников и прибылей для предупреждения образования концентрированных раковин: а — установка прибыли; б — установка прибыли и холодильника

Кристаллизация начинается в нижней части отливки и заканчивается в верхней с образованием усадочной раковины. Установка в верхней части отливки прибыли обеспечивает получение плотной отливки. Зачастую используют способы обеих групп. Сопротивление литейной формы предусадочному расширению (особенно в чугунах с шаровидным графитом) позволяет уменьшить объем усадочных раковин.

Чем выше плотность набивки и твердость литейной формы, тем меньше объем усадочной раковины (рис. 17.104).



Рис. 17.104. Влияние прочности литейной формы на объем раковин в отливке

Негерметичность отливок. Негерметичность отливок связана с образованием пористости в металле при его затвердевании. В значительной степени это определяется составом железоуглеродистых сплавов (рис. 17.105). Наиболее склонны к образованию пористости сплавы с широким интервалом кристаллизации, т. е. заэвтектические стали и чугуны с малой степенью эвтектичности.

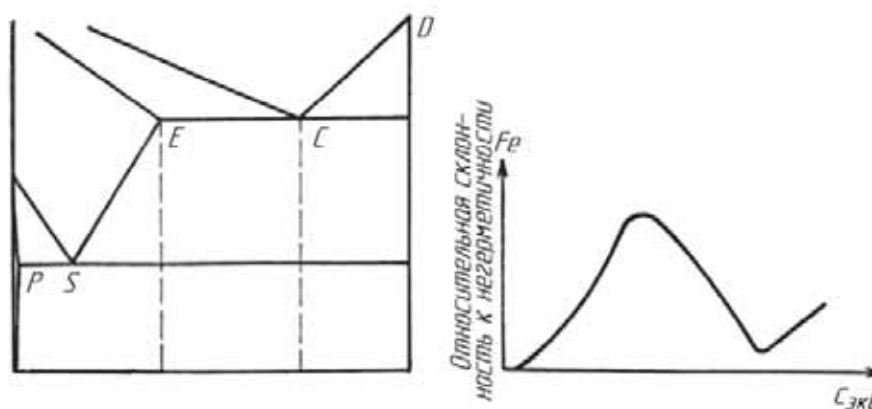


Рис. 17.105. Влияние $C_{\text{ЭКВ}}$ сплавов (диаграмма Fe – C) на герметичность отливок

Негерметичность отливок из чугуна заэвтектического состава связана с выделением *большого количества графитовых включений*. Переплетаясь между собой, крупные и грубые включения первичного графита создают микропористость на границах графит – металлическая основа.

Особенно велика пористость в местах концентрации графита, например, при его «всплывании» в медленно охлаждаемых отливках.

Повышенное содержание фосфора в металле, как это было показано выше, усугубляет появление пористости в отливке (рис. 17.99).

Из изложенного ясно, что для получения герметичных отливок следует применять те же способы, что и для уменьшения числа усадочных раковин: *правильный выбор материала отливок; проектирование технологических отливок и конструкций формы*, обеспечивающих направленное затвердевание металла; *гарантированный расчет элементов литниковой системы (прибылей); использование внутренних и внешних холодильников; заливка формы металлом с допустимо низкой температурой.*

34. Песчаная раковина – дефект в виде полости, полностью или частично заполненной формовочным материалом (рис. 17.106). Подробно рассмотрено в пункте 20 настоящего раздела.

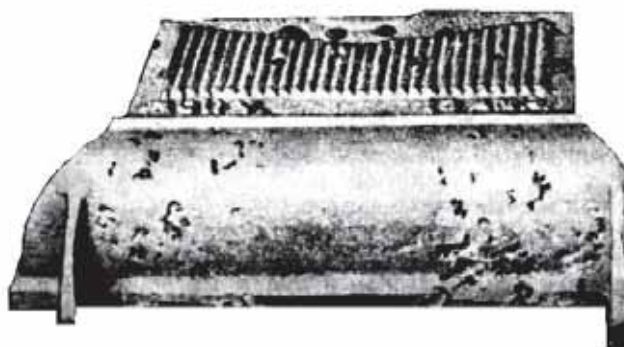


Рис. 17.106. Включения формовочной смеси в отливке

35. Шлаковая раковина – дефект в виде полости, полностью или частично заполненной шлаком (рис. 17.107).

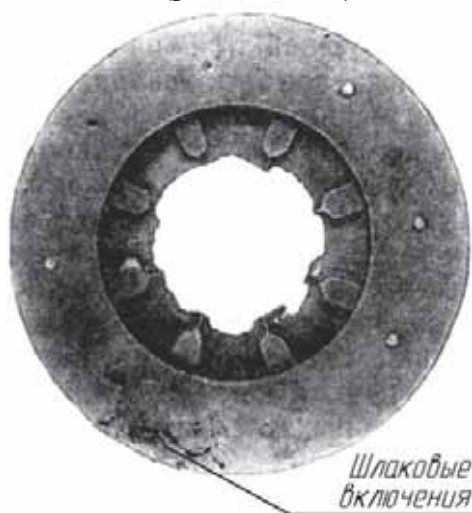


Рис. 17.107. Поверхностное крупное шлаковое включение в чугунной отливке нажимного диска сцепления грузового автомобиля

Источники образования неметаллических включений. В процессе плавки чугуна и стали при сплавлении оксидов со специально

вводимыми в печь шлакообразующими материалами, а также с оксидами, входящими в состав футеровки, образуется шлак.

Добавка известняка и некоторых других материалов при плавке чугуна в вагранке способствует получению жидкого и хорошо укрупняющегося ваграночного шлака. Количество его, зависящее от зольности кокса, степени загрязнения шихты и частичного окисления некоторых примесей чугуна (кремния, марганца), составляет обычно 4–7 % массы металлической шихты. Состав ваграночных шлаков приведен в табл. 17.16.

Таблица 17.16

Состав ваграночных шлаков в %

Футеровка печи	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO + Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	S
Кислая	42–55	18–35	1–8	7–20	5–15	2–10	0,1–0,5	0,05–0,3
Основная	30–35	40–55	10–14	5–10	2–3	1–3	0,5–1,0	0,5–1,0

При плавке стали ее примеси окисляются закисью железа, переходящей в металл из шлака, а содержащиеся в металле вредные примеси, такие, как S и P, переходят в шлак. В зависимости от химического состава и физических свойств шлака удаление вредных примесей из металла может быть более или менее полно. В восстановительный период плавки кислород из металла переходит в шлак. Кроме того, шлак препятствует переходу водорода и азота из атмосферы печи в металл.

В зависимости от содержания кремнезема различают кислые и основные шлаки (табл. 17.17).

Таблица 17.17

Состав шлака в конечной стадии плавки стали в %

Футеровка печи	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	MgO	CaF ₂	CaC ₂	S
Кислая	50–60	8–15	8–15	3–8	2–10	2–4	–	–	–	–
Основная (восстановительный период), белый шлак	15–20	<0,5	<0,4	2–5	55–60	–	8–15	15	< 1,0	0,3–0,5
Карбидный шлак	10–15	<0,5	<0,4	2–5	55–65	–	8–15	10–15	–	0,4–0,7
Полуокислый шлак	20–35	< ,0	<2,0	8–12	15–20	–	25–35	–	–	–

Кислые шлаки содержат более 40 % кремнезема и 3–15 % окиси кальция, а основные содержат менее 30 % кремнезема и 30–60 % окиси кальция. Кислые шлаки образуются при плавке стали в кислых печах с футеровкой из кремнеземистых материалов, а основные – при плавке стали в печах с магнезитовой или доломитовой футеровкой.

В процессе переливов и заливки в формы расплав взаимодействует с материалом футеровки ковшей и с атмосферой, также образуя шлаки. Шлак обычно стремятся удалить с поверхности расплава, но частицы его остаются в расплаве. Эти частицы могут при заливке попасть в форму и образовать неметаллические (шлаковые) включения в отливке.

При заливке формы расплав все время находится в контакте с формовочной смесью, которая может разрушаться. Частицы смеси попадают в расплав и при затвердевании отливки остаются в ней в виде песчаных включений. Песчаные включения возникают также вследствие попадания формовочной смеси в форму при сборке, простановке стержней, обдувке формы, кантовке или даже из-за небрежности или недостаточной квалификации рабочих. Следует отметить, что чаще всего источником неметаллических включений являются образовавшиеся ранее дефекты (например, ужимины, подрыв, обвал, обжим и т. д.), но песчаные включения могут возникнуть и от других источников. Именно эти дефекты и будут рассмотрены ниже.

Шлаковые включения. Шлаковыми называют включения, имеющие вид и состав шлака. Чаще всего шлаковые включения расположены в верхних частях отливок или на их поверхности. Оставшиеся после удаления шлака полости в теле отливки могут иметь гладкую или шероховатую поверхность с неровными краями. В зависимости от причин образования встречаются отдельные, изолированные открытые включения разнообразных размеров и конфигурации; включения, обнаруживаемые в теле отливки и имеющие выход к поверхности в виде небольшого отверстия; рассеянные включения, расположенные на поверхности отливки в виде сыпи, и т. д.

Шлаковые включения в большинстве случаев серого цвета различных оттенков.

Основная причина образования шлаковых включений – проникновение шлака вместе с расплавом в рабочую полость литейной формы. Возможность такого проникновения определяется количеством и природой шлаковых включений в расплаве, а также надежностью технологических приемов, предотвращающих их попадание в отливку. Шлак попадает в расплав обычно при механическом перемешивании его с

расплавом в процессе плавки и при выпуске из плавильного агрегата. Вследствие меньшего удельного веса шлаковые частицы в расплаве стремятся укрупниться и всплыть на поверхность. Однако при недостаточной выдержке металла в ковше перед заливкой, что наблюдается в массовом и серийном производстве, шлаковые частицы не успевают всплыть и могут попасть в форму вместе со сплавом.

Очень мелкие шлаковые частицы, образующиеся вследствие физико-химических реакций в расплаве, обычно не приводят к образованию существенных дефектов. Так, мелкие и тонкостенные отливки затвердевают значительно раньше, чем эти частицы успеют всплыть и укрупниться. Однако в крупных и медленно охлаждающихся отливках, особенно при недостаточной выдержке расплава в ковше, они могут укрупниться и всплыть к окончанию затвердевания. В таких случаях в отливках образуется большое количество мелких подкорковых шлаковых включений.

При отливке деталей из чугуна с шаровидным графитом, модифицированным магнием, в них обнаруживаются шлаковые включения в виде черных пятен. Исследования показали, что такие включения состоят из соединений магния с серой и кислородом и располагаются на горизонтальных поверхностях отливок, в верхних частях или под стержнями. С увеличением содержания серы до 0,08 – 0,12 % количество черных пятен сильно возрастает.

Способы предотвращения шлаковых включений. Основные способы предотвращения шлаковых включений в отливках можно разделить на две группы: способы, направленные на наиболее полное отделение шлака в процессе плавки и подготовки расплава к заливке, и способы, обеспечивающие задержку шлака в литниковой системе за счет применения специальных элементов и приспособлений, а также выбора соответствующих сечений ее составных частей.

В производственных условиях практически исключается возможность длительной выдержки жидкого металла в ковшах, поэтому большое значение имеет повышение температуры перегрева и понижение вязкости шлака. При низкой вязкости шлака его частицы легко укрупняются и всплывают, захватывая по пути мельчайшие частицы других неметаллических включений. Последние из-за ничтожно малых скоростей подъема самостоятельно всплывать не успевают.

Таким образом, для предотвращения возможности образования шлаковых включений процесс шлакообразования и вязкость шлака следует регулировать в процессе плавки путем подбора и строгой дозиро-

ки флюса соответствующего состава. Вязкость шлака необходимо периодически контролировать.

При выпуске металла из плавильного агрегата следует исключить возможность попадания шлака вместе с металлом. Это достигается применением копытника в вагранках, установкой на желобах специальных шлакоотделителей, например типа сифонов и т. д. Шлак, образующийся на поверхности расплава в ковше, следует счищать железными или деревянными скребками. Удаление шлака в этом случае облегчается при повышении его вязкости путем присыпки чистым и сухим кварцевым песком. Шлак, приставший к стенкам ковша, должен быть удален перед заливкой в него расплава. Возможность попадания шлака в полость литейной формы существенно уменьшает применение стопорных, чайниковых и сифонных ковшей.

Установка шлакоуловителей позволяет отделить расплав от шлака вследствие разности их удельных весов. Эффективность задержки шлака зависит также от правильности подбора размеров и соотношений площадей сечения отдельных элементов литниковой системы. Литниковая система должна быть построена таким образом, чтобы частицы шлака, попадающие вместе с металлом из ковша, и крупные частицы формовочной смеси, отделяющиеся от стенок ее каналов, были задержаны и не попали в полость формы.

Для обеспечения возможно более быстрого заполнения литниковой системы и всплывания шлаковых частиц необходимо последовательно увеличивать площади сечения элементов от питателей к стояку. Для уменьшения скорости движения расплава на выходе из питателей в цветном и стальном литье считают полезным их делать с плавным расширением (рис. 17.108).

Наиболее распространено применение следующих литниковых систем:

- тормозящих, в которых литниковый ход состоит из двух или более колен, располагающихся в различных половинах формы и направленных под углом друг к другу (рис. 17.108, *а*);
- дроссельных, в которых между стояком и питателем предусматриваются узкие щелевидные каналы, обеспечивающие спокойный вход металла в форму (рис. 17.108, *б*);
- с центробежными шлакоуловителями, применение их позволяет значительно уменьшить брак по шлаковым включениям (рис. 17.108, *в*);
- дождевые, в которых стояк соединяется с кольцевым шлакоуловителем, расплав из последнего поступает в полость формы через цилиндрические или щелевидные питатели (рис. 17.108, *г*);

– сифонные, обеспечивающие подачу металла в форму на одном или нескольких уровнях (рис. 17.108, д).

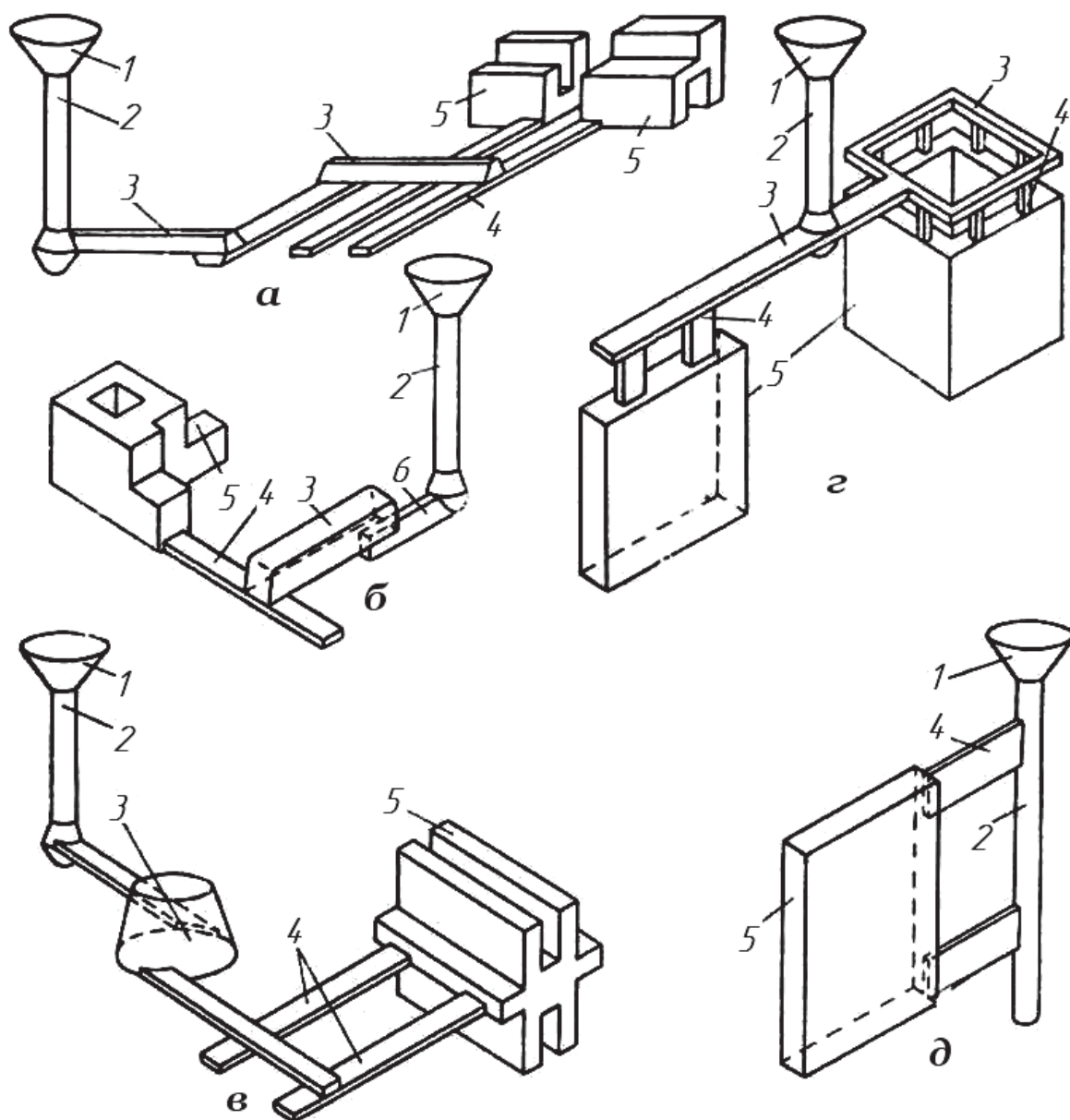


Рис. 17.108. Схемы литниковых систем: а – тормозящая; б – дроссельная; в – с центробежным шлакоуловителем; г – дождевая; д – сифонная (двухъярусная); 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели; 5 – отливка; 6 – дроссель

Правильная конструкция литниковой системы и спокойная заливка металла – надежные средства против шлаковых включений. В табл. 17.18 приведены основные причины образования шлаковых включений и способы их предотвращения.

Таблица 17.18

Причины возникновения шлаковых включений и меры по их предупреждению

Группа	Основные причины	Способы предотвращения шлаковых включений
I	Попадание в литейный ковш большого количества печных шлаков	Ведение плавильного процесса с минимальным выделением шлака Улучшение конструкции сифонного шлакоотделителя вагранки Сведение до минимума применения окисленной шихты, загрязненных флюсов и некачественных огнеупоров Тщательный ремонт плавильных агрегатов и их подготовка к плавке Хорошая очистка литейных ковшей
II	Образование вторичных шлаков в литейном ковше	Уменьшение окисления металла в плавильных агрегатах Заливка форм чугуном с достаточно высокой температурой Правильное соотношение содержания марганца и серы в чугуне Увеличение содержания кремния в чугуне Очистка ковшей от шлаковой корки Сливание остывшего металла в изложницы Качественное раскисление металла
III	Продукты размыва металлом кладки плавильных агрегатов, желобов, ковшевой обмазки	Подбор качественных огнеупоров Качественная футеровка и сушка печных агрегатов, желобов и литейных ковшей
IV	Попадание шлака в форму при заливке металла	Использование чайниковых или стопорных ковшей Использование загустителей шлака Применение литниковых чаш, задерживающих шлак Правильная конструкция литниковой системы Заливка форм с полной литниковой чашей Предупреждение окисления металла при заливке
V	Неправильная разработка литейной технологии	Увеличение припусков на механическую обработку Изменение расположения отливки в форме Изменение подвода металла в полость формы

36. Залитый шлак – дефект в виде частичного заполнения литейной формы шлаком.

37. Графитовая пористость – дефект отливок из серого чугуна в виде сосредоточенных или паукообразных выделений графита, вызывающих неплотности металла при испытании гидравлическим или газовым давлением, как показано в пункте 33 настоящего раздела (рис. 17.99, б и рис. 17.101).

Причиной появления крупных грубых пластинок графита в структуре серого чугуна, выплавленного в вагранке, чаще всего является грубая структура графита в исходном чушковом чугуне. Выбор чушковых чугунов для получения ответственных отливок типа гильз, блоков, головок цилиндров двигателей и компрессоров должен производиться с учетом не только их химического состава, но и исходной структуры чушковых доменных чугунов.

38. Усадочная пористость – дефект в виде мелких пор, образовавшихся вследствие усадки металла во время его затвердевания при недостаточном питании отливки.

Форма образующихся усадочных дефектов зависит от характера кристаллизации сплава в отливке. В зависимости от состава сплавы могут затвердевать при постоянной температуре (чистые металлы или эвтектические сплавы) или в интервале температур (сталь). В эвтектических сплавах, например серых чугунах, поверхность, образованная растущими гранями кристаллов, в сечении представляет собой относительно ровную линию (рис. 17.109, а). При таком характере затвердевания сплава жидкий металл, находящийся в верхней части отливки, практически до момента полного затвердевания компенсирует усадку металла в нижней части отливки. В результате вверху образуются крупные, концентрированные усадочные раковины. Недостаток жидкого металла может проявиться только в конце затвердевания при смыкании двух фронтов кристаллизации, когда зазор между ними становится незначительным. В таком случае по центральной оси сечения (стенки) отливки образуется осевая пористость (рис. 17.109, з); ширина этой пористой зоны в чугунных тонкостенных отливках невелика (0,5–2 мм) и практически не влияет на качество детали.

В сплавах, затвердевающих в интервале температур, например в сталях, растущие от поверхности отливки кристаллы глубоко вдаются в жидкий металл. В них образуется промежуточная двухфазная зона, состоящая из твердого и жидкого металла. Пока растущие от поверхности кристаллы не встретятся, верхние слои жидкого металла компенсируют усадку нижних слоев, т. е. питают их. В это время

в отливке формируется сравнительно крупная концентрированная усадочная раковина. Однако после срастания растущих кристаллов (рис. 17.109, в) объемы жидкого сплава между ними изолируются один от другого и дополнительный подвод жидкого металла прекращается. При затвердевании жидкого сплава в таких условиях в изолированном пространстве образуются мелкие усадочные раковины – поры. К концу затвердевания центральной части отливки количество изолированных участков жидкого металла и, следовательно, пор весьма велико. Скопление мелких усадочных раковин и называют усадочной пористостью. Часто усадочная пористость располагается под концентрированной усадочной раковиной, являясь как бы ее продолжением.

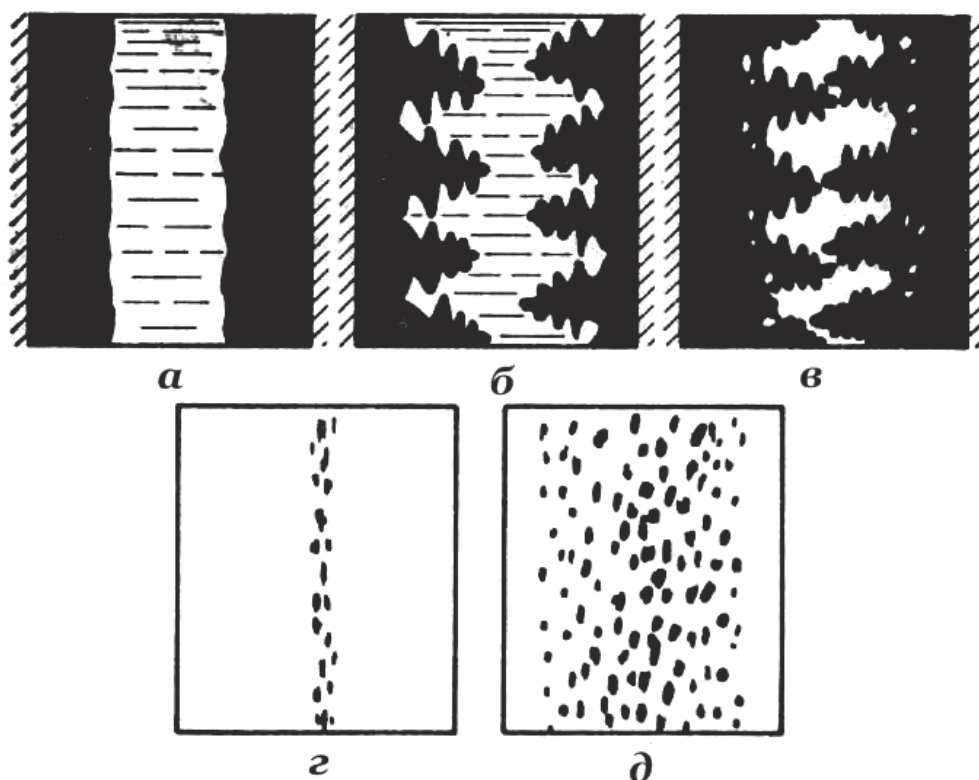


Рис. 17.109. Характер кристаллизации различных сплавов: а – серые чугуны, затвердевающие в небольшом интервале температур; б – сталь, затвердевающая в широком интервале температур; в – объемы жидкого металла между кристаллами изолированы от питающего узла отливки; г – осевая усадочная пористость в чугунной отливке; д – рассеянная усадочная пористость в стальной отливке

В некоторых случаях, например при очень медленном охлаждении металла в форме, пористая зона может распространяться прак-

тически на все сечение стальной отливки. При этом образуется так называемая рассеянная пористость (рис. 17.109, д). При неравномерной толщине стенок отливки в тонких стенках может возникнуть осевая пористость, а в тепловых узлах – местная пористость.

Существенным различием в характере кристаллизации чугуна и стали является также то, что при затвердевании чугуна выделяются включения графита, в результате чего увеличивается объем отливки. Это явление называется предусадочным расширением. Увеличение объема отливки за счет выделяющихся включений графита может существенно компенсировать уменьшение объема чугуна вследствие усадки. Поэтому общая объемная усадка, а, следовательно, и объем усадочных дефектов в чугунах с пластинчатым и шаровидным графитом меньше, чем в стали.

Количественно объемная усадка металла характеризуется коэффициентом $\varepsilon_{об}$, а линейная усадка отливки – коэффициентом $\varepsilon_{л}$, причем $\varepsilon_{об} \approx 3\varepsilon_{л}$.

Коэффициенты объемной и линейной усадок для некоторых сплавов приведены в табл. 17.19.

Таблица 17.19

Коэффициенты объемной и линейной усадки сплавов

Сплав	Коэффициент усадки в %	
	объемной	линейной
Чистое железо	5,5—7,5	1,8—2,5
Белый чугун	4—6	1,3—2,0
Серый чугун	—0,5—2,5	—0,2—0,8*
Высокопрочный чугун	5,0—7,0	1,6—2,3
Сталь углеродистая	6,5—7,5	2,2—2,5
Алюминиевые сплавы	3,0—4,2	1,0—1,4
Медные сплавы	4,0—6,0	1,3—2,0

* Знак минус означает приращение объема

Следует различать усадку сплава как такового от усадки реальных отливок. Усадка металлов и сплавов зависит только от их физических свойств, в то время как усадка реальных отливок зависит от ряда технологических факторов. Ниже рассмотрены важнейшие из них.

Стенки песчано-глинистой литейной формы, залитой металлом, под действием его напора могут деформироваться и прогибаться. При этом в отливке возникает дефект – распор и, кроме того, увеличивается объем

усадочных раковин. В прочной и жесткой форме за счет расширения смеси может произойти уменьшение усадочных дефектов в отливке.

Отдельные части реальных отливок остывают с неодинаковой скоростью, поэтому они как бы разделяются на несколько изолированных частей, в каждой из которых процесс объемной усадки происходит самостоятельно. При этом ранее затвердевшие части отливки тормозят усадку участков, затвердевающих позднее.

Значительное влияние на образование усадочных дефектов оказывает химический состав сплава. Так, увеличение содержания углерода в доэвтектическом чугуна приводит к заметному уменьшению объема усадочных раковин за счет увеличения в нем количества выделяющегося при кристаллизации графита. Чем выше содержание углерода в чугуна, тем меньше в отливках усадочной пористости и больше концентрированных усадочных раковин.

Пористость отливок уменьшается при выделении в чугуна мелкого графита и увеличивается при выделении его в виде грубых пластин. Влияние кремния на возникновение усадочных дефектов зависит от влияния его на процесс образования в чугуна графита. При повышении степени графитизации объем усадочных раковин уменьшается. Вместе с тем отмечено, что плотность и герметичность чугунных отливок повышается с уменьшением содержания углерода и кремния вследствие измельчения выделений графита. Марганец и сера, понижая степень графитизации, увеличивают объем усадочных раковин в чугуна.

Таким образом, влияние легирующих элементов на количество усадочных дефектов в чугуна связано в основном с их влиянием на процесс графитизации. Особенно большое развитие усадочные раковины получают при полном торможении графитизации, когда чугун затвердевает белым. Поэтому введение элементов (медь, никель и др.), способствующих графитизации, может привести к уменьшению объема усадочных раковин.

Белый низкоуглеродистый чугун, применяемый для получения отливок из ковкого чугуна, обладает большой склонностью к усадке в жидком состоянии, при затвердевании и в твердом состоянии. Во избежание появления усадочных раковин, из-за большой усадки в процессе затвердевания у каждого местного утолщения необходимо устанавливать боковые прибыли – питающие бобышки. Большая склонность к образованию усадочных раковин и пористости отливок из белого чугуна, подвергающихся последующему отжигу на ковкий чугун, затрудняет производство отливок, работающих под давлением. Количество усадочных дефектов в отливках из этого чугуна несколько уменьшается с увеличением содержания углерода.

Объем усадочных дефектов в отливках из чугуна с шаровидным графитом и белого чугуна и способы их предотвращения практически аналогичны.

Усадку стали в жидком состоянии увеличивает углерод и незначительно кремний, марганец и фосфор. При увеличении содержания углерода в стали на каждые 0,1 % объемная усадка ее повышается приблизительно на 2 %.

Способы предотвращения усадочных раковин и пор. Усадка является естественным процессом, происходящим в остывающей отливке, и предотвратить ее невозможно. Все методы предотвращения усадочных дефектов сводятся к созданию таких условий затвердевания, при которых недостаток жидкого металла в кристаллизирующейся отливке или в отдельных ее узлах восполняется путем подвода жидкого дополнительного металла. Дополнительный подвод металла к месту образования усадочных дефектов должен быть непрерывным и продолжаться до полного затвердевания. Таким образом кристаллизирующийся слой отливки должен быть в контакте с жидким металлом.

Для компенсации усадки сплава отливок используют искусственные емкости жидкого металла, называемые прибылями. Прибыли различаются по форме (цилиндрические, шаровые, конические, прямоугольные и т. п.), по принципу действия (обычные, обогреваемые, атмосферного давления, давления газа), по методу подачи металла (прямого питания – установка сверху и бокового питания – отводные), по положению в форме (открытые и закрытые).

Конструкция прибылей зависит от различных факторов, учитывающих производственные традиции, номенклатуру литья, серийность производства, оборудование цеха и т. п. Для того чтобы прибыли выполнили свою роль, они должны отвечать определенным требованиям.

Объем и форма прибыли должны быть такими, чтобы количество жидкого металла в ней в каждый момент времени до полного затвердевания отливки превышал величину объемной усадки еще незатвердевшего металла. Длительность полного затвердевания прибыли должна превышать длительность затвердевания питаемого узла отливки. Зона прилегания прибыли к питаемому узлу отливки должна быть достаточной для того, чтобы жидкий металл проходил с требуемой скоростью, и затвердевать она должна после затвердевания питаемого узла отливки, но раньше, чем затвердеет прибыль.

Выполнение этих требований достигается созданием направленного затвердевания отливки. При направленном затвердевании кристаллизация отливки или отдельных ее частей происходит последовательно в направлении к прибыли с таким расчетом, чтобы к каждому ранее затвердевшему слою отливки был доступ жидкого металла из прилегающего слоя, затвердевающего позже. Участки отливки, затвердевающие последними, соприкасаются непосредственно с прибылью (рис. 17.110). Этот принцип впервые был выдвинут русским металлургом В. Е. Грум-Гржимайло. Направленное затвердевание в

отливке можно создать как правильным конструированием отливки, так и использованием технологических приемов.

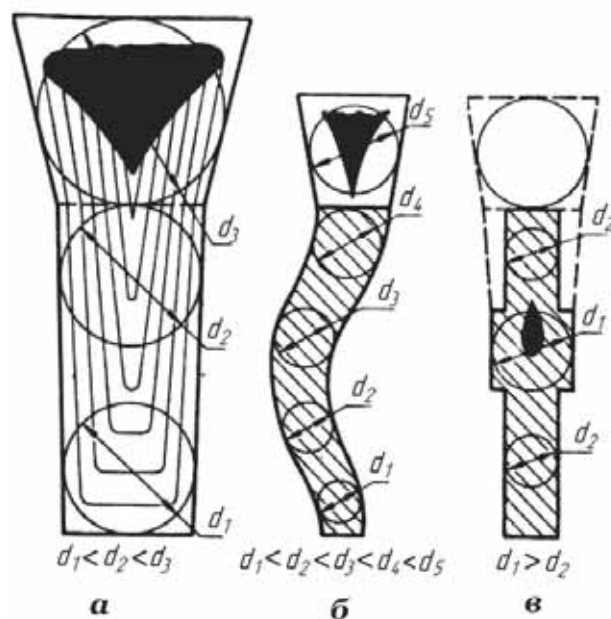


Рис. 17.110. Конструкции стенок отливок: а, б — обеспечивающие направленное затвердевание; в — не обеспечивающая направленного затвердевания

Для обеспечения принципа направленного затвердевания сечение отливки или отдельных ее стенок должно постепенно увеличиваться по направлению к месту установки прибыли (рис. 17.110, а)

Для стальных отливок, особенно ответственного назначения, это требование обязательно. Если по конструктивным соображениям невозможно или нежелательно постепенное утолщение стенок к прибыли, то при разработке литейной технологии предусматривают соответствующие технологические напуски, которые должны быть удалены при механической обработке (рис. 17.110, в).

Возможность направленного затвердевания отливки проверяют по чертежу методом вписанных окружностей (рис. 17.110, б). По мере приближения к месту установки прибыли диаметр вписанной в сечение стенки отливки окружности должен увеличиваться. Отношение $\frac{d_4}{d_1}$ за-

висит 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.

Для ускорения остывания стенок отливки используют металлические наружные холодильники. Зазор между смежными наружными холодиль-

никами должен быть минимальным, а торцовые стороны холодильников рекомендуется выполнять со скосами. Площадь наружных холодильников должна быть меньше площади охлаждаемого теплового узла, во избежание преждевременного затвердевания прилегающих к теплому узлу частей отливки, через которые поступает жидкий металл от прибыли.

При получении крупных и массивных отливок применяют внутренние металлические холодильники, устанавливаемые внутрь формы. Нагреваясь, они отбирают тепло от жидкого металла. Толщину холодильников и их число определяют на основе тепловых расчетов и экспериментальных данных. Неоправданное увеличение толщины наружных холодильников может вызвать отбел чугуновых отливок, образование трещин и других дефектов. Масса внутренних холодильников не должна превышать 3,5 % массы питаемого узла, иначе не произойдет их прочное соединение со сплавом отливки.

Материал внутренних холодильников обычно такой же, как материал детали.

Простейшими внутренними холодильниками являются шпильки, гвозди, прутки, пластины и др., перед установкой их необходимо очищать от ржавчины.

Для ускорения отвода тепла при отливке крупных и тяжелых деталей в последнее время начали применять принудительное охлаждение путем продувки форм воздухом или паровоздушной смесью.

Замедления скорости охлаждения прибыли можно достигнуть двумя способами: уменьшением отвода тепла от прибыли путем применения формовочных материалов с малой охлаждающей способностью, например асбеста, пористых огнеупорных материалов, изоляции открытой поверхности прибыли и т. д.; подогревом металла в прибыли главным образом путем облицовки ее экзотермическими смесями, выделяющими большое количество тепла при контакте с металлом.

Последний способ достаточно прост и наиболее перспективен; он позволяет получать плотные отливки и в 1,5–3 раза уменьшить расход металла на прибыли. Экзотермическую смесь применяют в виде облицовочной смеси или стержневых стаканов. Эффективность действия открытых прибылей можно повысить путем доливки горячего металла по мере понижения его уровня. Форма вокруг прибыли может быть разогрета при прохождении через нее элементов литниковой системы, и тем самым замедлено охлаждение металла.

Питание тепловых узлов жидким металлом прибыли обеспечивается при определенном давлении сплава, необходимого для преодоления сил, препятствующих его протеканию через узкие каналы между растущими кристаллами. С повышением давления металла плотность отлив-

ки увеличивается. Обычно такое давление создается напором металла, определяемым разницей его уровней в прибыли и в питаемом месте отливки. Значительное увеличение высоты прибыли часто бывает невозможно по техническим или экономическим соображениям.

Для повышения давления металла в прибыли в ней устанавливают специальный газопроницаемый стержень, соединяющий ее с атмосферой. В результате на металл, находящийся в прибыли, дополнительно действует атмосферное давление. При установке в полость закрытой прибыли перед заливкой формы небольших стержней, выделяющих при нагреве большое количество газов, также создается дополнительное газовое давление на жидкий металл.

С повышением температуры заливки металла количество усадочных дефектов увеличивается. Чрезмерное уменьшение температуры заливки ухудшает условия заполнения формы и увеличивает опасность образования газовых раковин и других дефектов. Поэтому для отливок каждого типа температуру заливки следует устанавливать с учетом всех факторов, влияющих на их качество.

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.

Выполнить это условие при изготовлении сложных отливок трудно, а иногда и невозможно. Однако некоторые приемы можно использовать. Так, при получении отливок из серого чугуна питатели подводят в более тонкие части детали. Вследствие сравнительно небольшой усадки чугуна это позволяет выравнивать скорость охлаждения массивных и тонких стенок отливки и предотвращать образование усадочных раковин. При заливке стальных отливок металл обычно подводят в массивную часть через прибыль или питающую бобышку. Более целесообразно применение верхних прибылей при заливке сверху. В этом случае прибыли заполняются наиболее горячим металлом.

39. Газовая пористость — мелкие раковины, образовавшиеся в отливке в результате выделения растворенных газов из металла при его затвердевании. Процесс образования раковин-пор рассмотрен в пункте 31 настоящего раздела

40. Рыхлота — дефект в виде скопления мелких усадочных раковин.

Примечание. Рыхлота обнаруживается при механической обработке отливки или методами дефектоскопии.

Вследствие уменьшения объема металла в процессе его охлаждения и кристаллизации в отливках возникают усадочные раковины и микропоры. Чтобы правильно представить развитие этих дефектов, необходимо изучить

последовательность затвердевания различных частей отливки и условия компенсации усадки в каждом из кристаллизующихся слоев.

Как отмечалось, процесс затвердевания отливки в температурном интервале кристаллизации состоит из двух принципиально различных периодов. Первый период начинается с момента образования первых кристаллов и продолжается до достижения температуры ликвидуса в термическом центре отливки. В этот период возникает и растет центральная усадочная раковина, причем затвердевший металл получается плотным. Во втором периоде объемная усадка переходной зоны происходит за счет развития микропор в металле. Такая схема развития микропористости в отливке позволяет выяснить факторы, обуславливающие возможность получения плотных отливок. Ширина дефектной (пористой) зоны зависит от интервала кристаллизации заливаемого металла.

Повышение интенсивности отвода теплоты от отливки равноценно уменьшению интервала кристаллизации. Было проведено сравнительное исследование с целью определения зависимости зоны микропористости от теплоаккумулирующей способности формы, ее температуры и температуры заливки.

В результате проведенных исследований установлено, что зона пористости уменьшается при увеличении теплоаккумулирующей способности формы только до определенной величины, на практике этим способом можно уменьшить зону пористости, но устранить ее полностью не удастся. При повышении температуры заливки металла и начальной температуры формы зона пористости увеличивается. Известно, что интенсивность теплообмена между металлом и литейной формой существенно влияет на характер процесса кристаллизации и образование дефектов в результате усадки и химической неоднородности. С ускорением отвода теплоты из кристаллизующейся отливки возрастает неравномерность расположения микроусадочных раковин по ее сечению и наблюдается тенденция к их сосредоточению в осевой зоне.

Характер распределения пористости в большой степени зависит от условий перемещения питающей жидкой фазы, находящейся в междендритных пространствах, в переходную зону кристаллизующейся отливки. Тепловые условия кристаллизации и теплофизические свойства сплава обуславливают количество, характер и форму междендритных микропространств (капилляров), от которых в основном зависят основные закономерности процесса движения жидкой фазы.

Как говорилось выше, микропористость отливок значительно снижается при использовании форм с высокой теплоаккумулирующей способностью. Добавление в формовочную смесь маршаллита, использование хромомагнетитовых и других теплопроводных смесей

приводят к уменьшению микропористости и относительному увеличению центральной усадочной раковины. Устанавливаемые прибыли должны быть рассчитаны таким образом, чтобы в них входила не только центральная усадочная раковина, но и зона, насыщенная микропорами. При этом рабочая часть отливки будет плотной, без дефектов в результате усадки.

В практике литья стали хорошо известно, что при уменьшении микропористости в отдельных узлах отливки целесообразно устанавливать холодильники (внешние или внутренние), которые вставляют в готовую форму до начала заливки.

Интенсивность теплоотвода при использовании внутренних холодильников непосредственно зависит от их объема. Выбор внутренних холодильников рассмотрен в главе 12, подраздел 12.2.

Внутренний холодильник должен быть изготовлен из материала отливки. Такой холодильник удобно использовать для охлаждения каждого большого термического узла. Целесообразно до установки небольшие холодильники лудить или покрывать медью, а большие – очищать от ржавчины. Их установка в форму не должна препятствовать выделению газа из жидкого металла.

Существующие способы определения толщины внешних холодильников сложны и не всегда могут быть использованы. На практике обычно толщину холодильника принимают равной $1/2$ или $2/3$ толщины охлаждающейся стенки отливки.

Правильный выбор литниковой системы имеет большое значение в борьбе с микропористостью. Жидкую сталь нельзя направлять к утолщенным узлам отливки, так как это может вызвать образование микропор.

41. Непровар жеребеек (холодильников) – дефект в виде несплошности соединения металла отливки с поверхностью жеребеек (холодильников) вследствие их загрязнения, несоответствия масс, пониженной температуры заливаемого металла.

Очень часто металлические включения образуются от нерасплавившихся жеребеек. Включения образуются и тогда, когда установлено большое количество излишне массивных жеребеек (рис. 17.111).

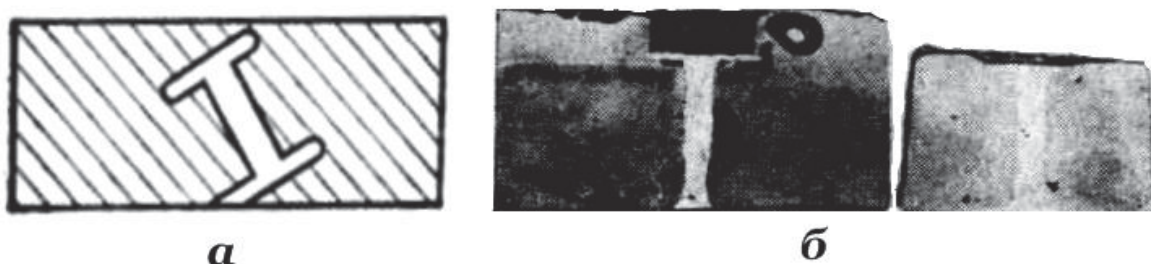


Рис. 17.111. Дефект – нерасплавившая жеребейка: а – схема; б – дефектная отливка

Внутренние холодильники из стали, устанавливаемые в формы, в которые заливается чугун, не имеющие диффузионной связи с отливкой, также классифицируются как металлические включения.

42. Вскип – скопления раковин и наростов, образовавшихся вследствие парообразования в местах переувлажнения литейной формы или проникновения газов из стержней в полость литейной формы, рассмотрен в пункте 31 настоящей главы.

43. Утяжина – дефект в виде углубления с закругленными краями на поверхности отливки, образовавшегося вследствие усадки металла при затвердевании (рис. 17.97, пункт 33 настоящей главы).

17.1.4. Четвертая группа дефектов – включения

44. Металлическое включение – дефект в виде инородного металлического включения, имеющего поверхность раздела с отливкой

Металлические включения представляют собой включения с металлическим блеском и со структурой, отличной от структуры металла отливки. Они образуются при неполном растворении в расплаве металлических примесей, вводимых в ковш или в литейную форму. Обнаруживаются визуально, особенно после механической обработки отливок (рис. 17.112).

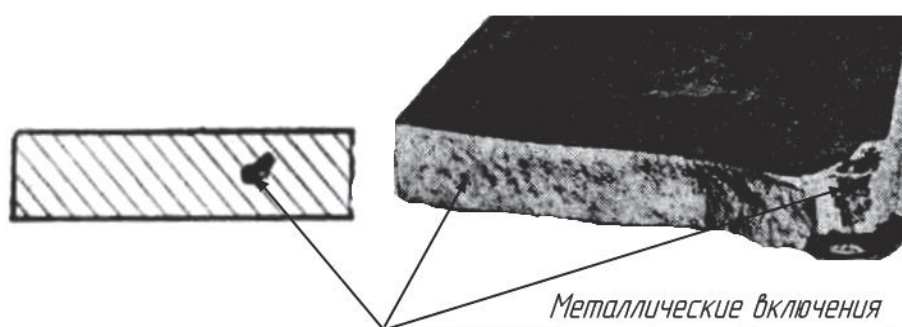


Рис. 17.112. Дефект – металлические включения

Металлические включения образуются в результате *нерастворения ферросплавов*, особенно с высокой температурой плавления, таких, как феррохром, ферромolibден и др. Это имеет место в случае введения ферросплавов в ковш непосредственно перед заливкой, т. е. не остается времени для их расплавления.

45. Неметаллическое включение – дефект в виде неметаллической частицы, попавшей в металл механическим путем или образовавшейся вследствие химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке металла.

Неметаллические включения в отливках образуются от примесей в шихте во время плавки, внепечной обработки и разливки металла. Их размеры меньше размеров песчаных шлаковых включений. Некоторые неметаллические включения, например в стали, неизбежны и их следует оценивать как дефекты самого процесса. Количество, форма и распределение включений заметно сказываются на механических свойствах стали. Аналогичные включения есть и в чугунах, но они мало изменяют его свойства, так как основное влияние на свойства чугуна оказывают включения графита.

Неметаллические включения в стали. Из неметаллических включений в стали имеют значения сульфиды, оксиды и в меньшей степени нитриды. Часть из них вносится шихтой, а остальные образуются при расплавлении металла и формировании отливки. Неметаллические включения, растворимые в металле, образуют при кристаллизации самостоятельные фазы; нерастворимые включения присутствуют в виде твердых частиц (табл. 17.20).

Таблица 17.20

Химические формулы неметаллических включений

Оксиды		Растворимые сульфиды	Нерастворимые нитриды
нерастворимые	растворимые		
SiO ₂ Al ₂ O ₃ MnO Cr ₂ O ₃ TiO ₂	FeO	FeS MnS	TiN

Всплывание неметаллических включений в металле подчиняется закону Стокса

$$v = (2g/9\eta) r^2(\rho_M - \rho_{\text{вкл}}), \quad (17.9)$$

где v – скорость всплывания включений, м/с; g – ускорение силы тяжести, м/с²; r – радиус частицы включения, м; ρ_M , $\rho_{\text{вкл}}$ – плотности соответственно металла и включения, кг/м³; η – вязкость металла, Па·с.

Всплывание неметаллических включений в стали из-за их малых размеров (0,005–0,3 мм) происходит очень медленно, и поэтому очистить жидкий металл от включений выдержкой в ковше или в литниковой системе практически невозможно.

Сульфидные включения оказывают значительное влияние на свойства стали. По международной классификации неметаллические включения разделяют на три типа (табл. 17.21).

Таблица 17.21

Типы сульфидных включений

Тип	Характеристика включений
I	Сферической или округлой формы разных размеров с беспорядочным расположением
II	Вытянутой формы в виде цепочек, расположенных по границам аустенитного зерна
III	Игольчатые различных размеров с беспорядочным расположением

Некоторые формы включений показаны на рис. 17.113.

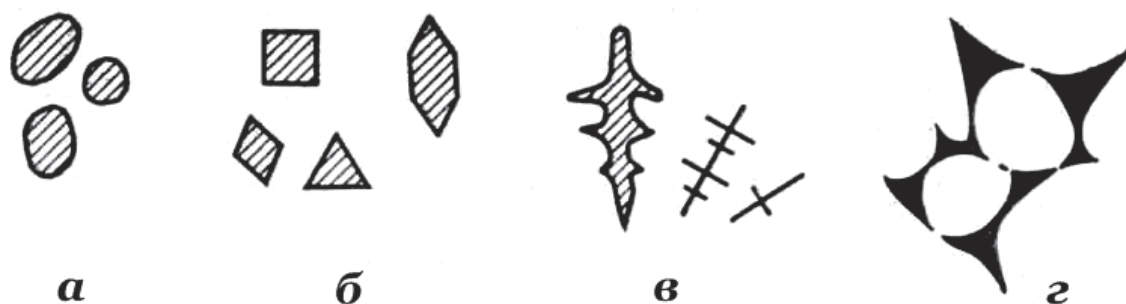


Рис. 17.113. Формы неметаллических включений, содержащихся в стали: а – сферическая; б – кристаллическая; в – дендритная, г – пленочная

Включения I типа наиболее благоприятны, так как не влияют на прочностные и пластические свойства стали. При наличии включений II типа прочностные свойства стали ухудшаются, отливки из-за хрупкости металла склонны к растрескиванию. Включения III типа занимают промежуточное положение и обычно сталь с такими включениями удовлетворяет требованиям производства.

Форма и распределение сульфидов определяются способом и степенью раскисления стали. Раскисление марганцем, ферросилицием или комплексными кремниевыми раскислителями при конечном содержании алюминия около 0,005 % приводит к образованию оксисульфидов I типа, распределенных равномерно в металле отливки. Однако из-за опасности образования газовых дефектов сталь раскисляют большим количеством алюминия. При содержании в стали 0,005–0,015 % алюминия по границам зерен выделяется сульфид марганца (II тип), снижающий механические свойства отливок. Еще большее содержание алюминия (0,03–0,1) % вызывает образование игольчатых оксисульфидов III типа.

Оптимальное содержание алюминия в стали зависит от многих факторов, и определить его трудно. Так, например, при увеличении в

стали содержания серы и уменьшении содержания углерода фактически не удастся получить включения III типа при раскислении только алюминием. При больших скоростях охлаждения отливок количество вводимого алюминия увеличивают. С другой стороны, увеличенное содержание алюминия приводит к выделениям на границах зерен нитрида алюминия, вызывающего хрупкость стали.

Форма и распределение сульфидных включений в стали наиболее благоприятны при комплексном раскислении алюминием и силикокальцием, алюминием и редкоземельными металлами (лантан, церий) с окончательным раскислением марганцем и цирконием.

Черные пятна. Черные пятна образуются в отливках из высокопрочного чугуна, модифицированного магнием, и представляют собой скопления неметаллических шлаковых включений сложного состава в виде чешуек и пленок толщиной 0,001–0,05 мм (обычно 0,01 мм) и длиной 0,01–10 мм (обычно 1–2 мм). Особенно часто черные пятна образуются из доэвтектического чугуна (рис. 17.114).

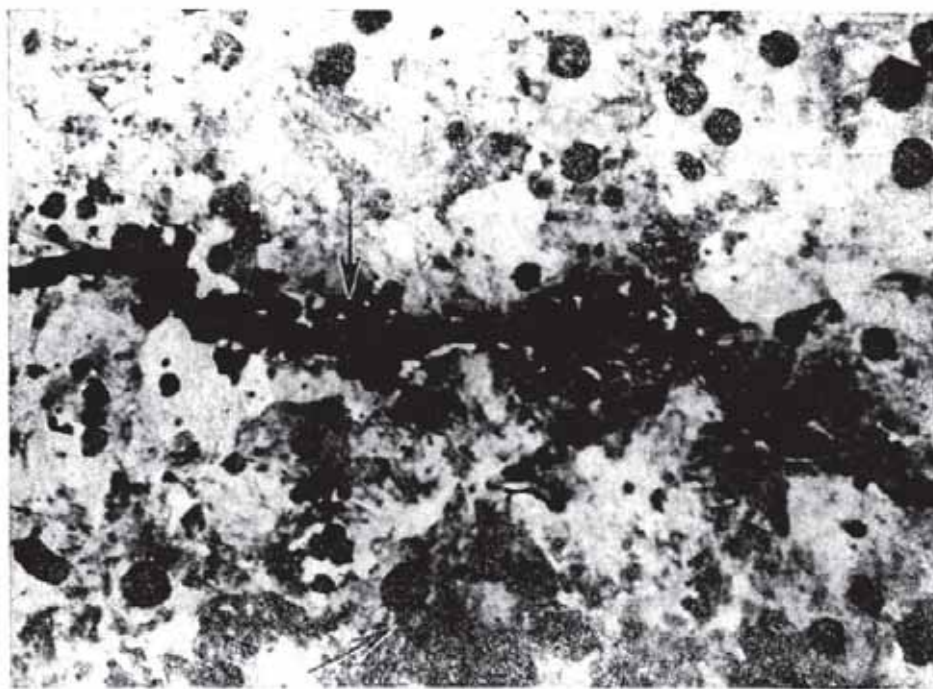


Рис. 17.114. Черные пятна в отливках из чугуна с шаровидным графитом

Дефекты чаще всего образуются в зоне питателей или в верхней части отливок. При быстром охлаждении металла или в тонкостенных отливках черные пятна распределены равномерно по всему сечению отливки, так как шлаковые включения не успевают всплыть.

Черные пятна уменьшают прочность чугуна на 20–70 % и относительное удлинение примерно на 20 %. Особенно опасен

этот дефект для деталей, работающих при ударных нагрузках. Отливки с черными пятнами не выдерживают гидроиспытаний.

Черные пятна образуются от шлаков, выделяющихся при модифицировании чугуна магнием и вторичном модифицировании кремнием. В состав шлаков входят MgO , SiO_2 , Mg_2SiO_4 (форстерит), MgSiO_3 , MgS , Al_2O_3 , $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ (фаялит), железо, нитриды и др. В самом чугуне возможно повышенное содержание S, Si и Mg. С увеличением содержания в чугуне магния и кремния повышается возможность появления черных пятен. Рекомендуемое количество остаточного магния не более 0,03–0,05 %. Количество шлаковых включений уменьшается при модифицировании цериевой лигатурой. Это объясняется сильным раскисляющим действием церия, препятствующего образованию MgO и SiO_2 .

Нежелательна *длительная выдержка* чугуна в ковше и медленная его разливка из-за окисления магния до MgO . Желательно иметь температуру заливки чугуна не ниже 1420 °С.

Уменьшение влажности формовочной смеси снижает число черных пятен, так как уменьшается окислительная способность формы. В отливках, полученных в сухих формах, как правило, черные пятна не образуются. Для создания восстановительной атмосферы при заливке содержание каменного угля в сырой форме должно превышать 6 %. В чугуне, полученном в вагранке с кислой футеровкой, черных пятен образуется больше, чем в чугуне, выплавленном в дуговой или индукционной печах с основной футеровкой. Причиной этого является повышенное содержание серы в чугуне, выплавленном в печах с кислой футеровкой. Содержание серы в чугуне не должно превышать 0,015 %. Если содержание алюминия в чугуне превышает 0,01 %, то это увеличивает шлакообразование. С увеличением *углеродного эквивалента* увеличивается число черных пятен, что объясняется выделением эвтектического графита.

Число дефектов увеличивается, если в чугуне остается *нерастворимый ферросилиций*. Плохо влияет *зашлакованный ковш*, особенно его заливочный носок.

При *неправильной конструкции литниковой системы* шлак попадает в отливку. Острые грани формы и резкие изменения направления струи раздробляют жидкий металл, что приводит к его окислению.

Хорошим средством, предотвращающим появление черных пятен, служат флюсы, растворяющие оксидные пленки. Наиболее часто используют криолит Na_3AlFe_6 . Положительное свойство криолита заключается в разжижении им шлака. Его количество должно составлять 0,1–0,25 %. При большем количестве возможно образование пластинчатого или точечного графита и появление отбела.

46. Королек – дефект в виде шарика металла, отдельно застывшего и несплавившегося с отливкой, образовавшегося брызгами при неправильной заливке.

Корольки характерны для чугунных отливок. Они представляют собой мелкие, затвердевшие отдельно от отливки капли металла, расположенные в открытых или закрытых полостях. Поверхность закрытых полостей и королек гладкая и блестящая (рис. 17.115).

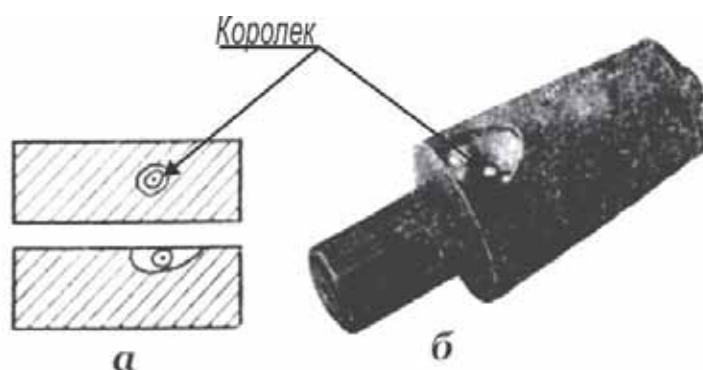


Рис. 17.115. Дефект – корольек: а – схема; б – дефектная отливка

Корольки получаются при разбрызгивании струи металла. Часть капель увлекается металлом, растворяется в нем и не образует королек. Другие же капли попадают в отдаленную часть формы, остывают, окисляются и не растворяются в металле. Это происходит по разным причинам:

- температура плавления оксидов, покрывающих корольки, выше температуры расплавленного металла;
- слой оксидов на корольках взаимодействует с углеродом чугуна и образует оксид углерода, изолирующий корольек от жидкого металла.

Капли жидкого чугуна образуются в начале заливки при разбрызгивании струи металла из-за застывшего на носике ковша шлака. Следует уменьшить высоту струи. При использовании крановых ковшей расстояние от носка до литниковой чаши не должно превышать 300–400 мм, а при применении ручных ковшей – еще меньше. Литниковую систему следует заполнять быстро, иначе корольки могут образоваться в процессе всей заливки. *Дождевая заливка* часто применяется при изготовлении отливок типа втулок, цилиндров. При такой системе наименее возможно образование королек.

При литье в сырые формы от соприкосновения металла с сырым формовочным составом может быть взрывоподобное испарение влаги с образованием брызг металла. Поэтому снижение влаги в сырых формах способствует снижению образования королек. В сухих формах

корольки образуются в тех случаях, когда стержень или форма собраны горячими, а при остывании на них конденсируется влага. Особенно склонны к образованию корольков отливки, полученные в металлических формах, из-за быстрого охлаждения брызг металла.

Образование корольков резко снижается при создании в форме *восстановительной атмосферы*. К сожалению, такая атмосфера возникает после заливки в нее части металла и не предотвращает образования корольков в начале заливки.

Образованию корольков способствует использование ковшей с невысушенной футеровкой, особенно с «сырым» носиком.

Довольно часто капли металла попадают в форму через воздушные каналы формы (при небрежной заливке).

17.1.5. Пятая группа дефектов – несоответствие по структуре

47. Отбел – дефект в виде твердых, трудно поддающихся механической обработке мест в различных частях отливки из серого чугуна, вызванных скоплением структурно свободного цемента.

Отбел является дефектом структуры отливок из серого чугуна. Он четко выявляется в изломе отливок в виде светлых участков на фоне более темных (от светло- до темно-серого цвета) участков, характерных для серого чугуна (рис. 17.116).

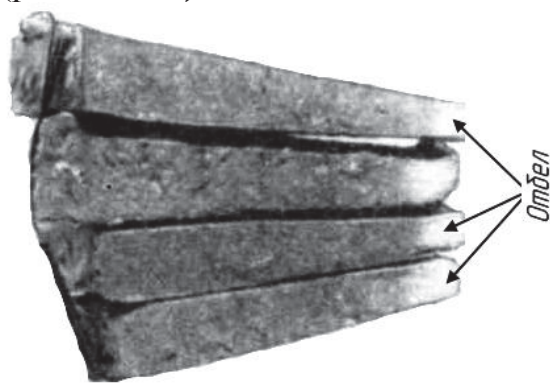


Рис. 17.116. Отбел в сером чугуне

Отбел обнаруживается в тонких частях отливок или около острых угловых кромок. Причина образования отбела – пониженное содержание углерода и кремния в чугуне или повышенное содержание карбидообразующих элементов: хрома, титана, марганца, ванадия, которые могут попасть в чугун из чушковых чугунов или легированного стального лома.

Образование отбела в тонких частях отливок при нормальном колебании содержания углерода, кремния и легирующих элементов в чу-

гуне иногда является следствием того, что в литейных цехах один и тот же расплав используют для получения отливок различного сечения, требования к структуре которых одинаковы. При этом химический состав выбирают в расчете на среднее сечение, что усугубляет опасность получения отбела в наиболее тонких частях тонкостенных отливок.

Для предупреждения отбела чугуна в ковше модифицируют добавками ферросилиция, силикокальция, графита. Количество модификатора составляет 0,2–0,8 % веса жидкого металла. Наиболее эффективно модифицирование чугуна при температуре не ниже 1380–1420 °С.

На образование отбела в особо тонкостенных отливках, например поршневых кольцах, влияет температура заливки. Снижение температуры заливки ниже 1400 °С часто приводит к образованию отбела, так как при этом увеличивается скорость охлаждения чугуна.

Отбел вызывает *затруднение механической обработки* отливок фрезерованием, строганием и т. п. Этот недостаток обычно связан с повышенной твердостью отливок. Особенно трудно обрабатывать отливки с частичным или полным отбелом. Для разложения цементита отливки следует отжечь по *высокотемпературному режиму*. Нередки случаи, когда затрудненная обрабатываемость вызвана высокой дисперсностью перлита. Причиной этого могут быть различные: ускоренное охлаждение отливок в литейной форме, быстрое извлечение отливок из формы, повышенное содержание Mn, Cr и других легирующих элементов, которые понижают температуру эвтектоидного превращения и образуют сорбитную структуру, и др. Для улучшения механической обработки, в этом случае отливки следует отжечь. Обычно отливки нагревают выше температуры эвтектоидного превращения и медленно охлаждают. Твердость можно понизить *низкотемпературным отжигом*, т. е. выдержкой отливок при 680–700 °С. Последний способ выгодно отличается от высокотемпературной обработки малым окислением отливок и отсутствием деформаций.

48. Половинчатость – дефект в виде проявления структуры серого чугуна в отливках из белого чугуна (рис. 17.117).

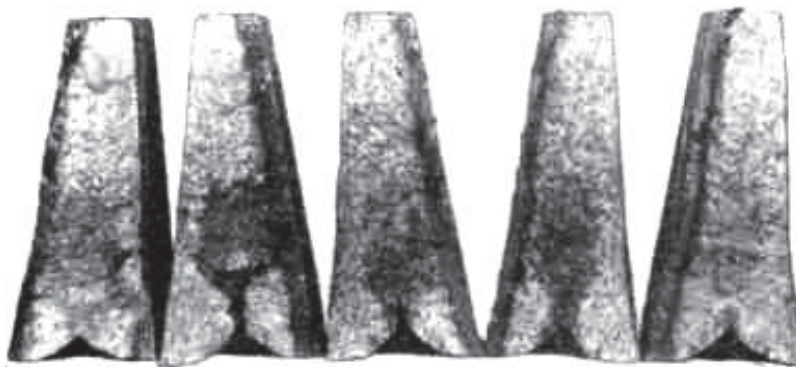


Рис. 17.117. Половинчатость

Половинчатость является характерным дефектом отливок из белого чугуна и заключается в выделении в массивных частях отливок первичного графита в процессе кристаллизации расплава.

Причина образования половинчатости (отсера) в отливках белого чугуна – повышенное для отливок данного сечения содержание углерода и кремния. Рекомендуемое содержание углерода и кремния в отливках из белого чугуна различного сечения приведено в табл. 17.26.

Таблица 17.26

Содержание углерода и кремния в белом чугуне для отливок со стенками различной толщины

Толщина стенки в мм	Содержание в %		Толщина стенки в мм	Содержание в %	
	углерода	кремния		углерода	кремния
4–6	3,0–2,8	1,2–1,0	13–25	2,6–2,5	0,6–0,55
6–9	2,8–2,7	1,0–0,8	Более 25	2,5–2,4	0,55–0,5
9–13	2,7–2,6	0,8–0,6			

Если чугун модифицируют бором и алюминием, то одновременно для предупреждения образования отсера в массивных сечениях вводят 0,005–0,025% висмута.

49. Ликвация – дефект в виде местных скоплений химических элементов или соединений в теле отливки, возникших в результате избирательной кристаллизации при затвердевании.

Одним из самых распространенных и трудноустраняемых дефектов в стальных отливках является зональная ликвация. Под зональной ликвацией понимается химическая неоднородность во всем объеме затвердевшей отливки. Когда химическая неоднородность сосредоточена в центральной части отливки, имеет место *прямая зональная ликвация*, если концентрация примеси повышена в периферийных зонах отливки – *обратная зональная ликвация*.

Склонность к ликвации данного элемента тем больше, чем значительнее разница в его растворимости в твердой и жидкой фазах. Очень часто в отливках наблюдается так называемая осевая V-образная ликвация, которая обуславливается характером движения расплава при усадке. Степень развития зональной ликвации определяется процессом перемещения жидкого металла во время кристаллизации независимо от причин, вызывающих это перемещение.

Различные стали имеют различную склонность к развитию дефектов, вызванных химической неоднородностью.

Проблемам, связанным с устранением этой неоднородности в от-

ливках, уделяется большое внимание в теории и практике литья стали.

Важными факторами, определяющими процесс образования ликвационной неоднородности, являются ширина и время существования переходной зоны в отливке, которые зависят от температурного интервала кристаллизации. Последний можно регулировать, изменяя теплофизические параметры формы. Ширина зоны двухфазной кристаллизации уменьшается под влиянием каждого из факторов, способствующих более крутому подъему температурных кривых кристаллизующейся отливки.

Эффективным средством воздействия на процесс образования зональной ликвации является правильный выбор формовочной смеси с определенными теплофизическими свойствами (основным параметром является теплоаккумулирующая способность). Изменяя теплоаккумулирующую способность в широких пределах, можно коренным образом изменить картину ликвации. Введение в расплав поверхностно-активных веществ способствует уменьшению зональной ликвации.

Установлено, что склонность к ликвации каждого элемента, входящего в состав сплава, в той или иной степени зависит от его поверхностной активности по отношению к расплаву и от интенсивности охлаждения.

Для многокомпонентных сплавов (например стали, особенно высоколегированной) решающее влияние на образование ликвации оказывает их химический состав. Поверхностно-активные элементы сплава движутся во внутренних слоях отливки и ликвируют обратно. Неактивные элементы переносятся к внутренним слоям отливки и ликвируют нормально.

Часто в литейной практике встречаются случаи, когда в стальных отливках под центральной усадочной раковинной образуется зона с повышенным содержанием примесей.

Практический интерес представляет установление степени развития зональной ликвации. Эту степень можно определить химическим анализом проб, взятых по всему сечению отливки, а также с помощью макроструктурного анализа.

Наличие сернистых соединений в стали можно установить методом сернистого отпечатка. Фотобумагу, пропитанную в 5 %-ном растворе сернистой кислоты, плотно приклеивают на подготовленный металлический шлиф. На бумаге появляются темные пятна в тех местах, где имеются сульфиды.

Наиболее сильно ликвирующими элементами являются сера, фосфор и углерод.

Согласно классическим представлениям при затвердевании отливок образуются три зоны кристаллов: внешняя мелкозернистая, средняя с ориентированными кристаллами и внутренняя с равномерно распо-

женными кристаллами. Столбчатые кристаллы средней зоны растут в жидкой среде по направлению к центру отливки, в них содержится меньше серы, фосфора и углерода, чем в жидком металле.

На рис. 17.118 показана схема различных видов ликвации.

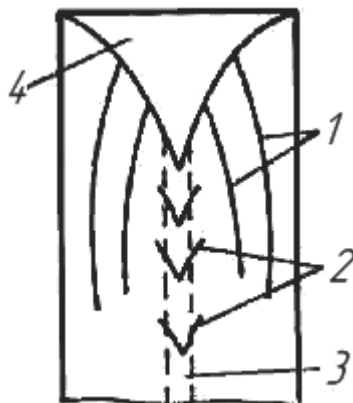


Рис. 17.118. Различные виды зональной ликвации: 1 — вне центральной зоны; 2 — V-образная; 3 — в центральной зоне; 4 — усадочная раковина

К концу процесса кристаллизации сравнительно быстро и одновременно затвердевает центральная зона отливки. Таким образом, в граничных пространствах между центром отливки и зоной столбчатых кристаллов остаются последние объемы металла, содержащие наибольшее количество ликватов.

Если пробы берут по сечению отливки последовательно от поверхности к центру, то наблюдается повышение содержания углерода, серы и фосфора в этом направлении.

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

Устранить или уменьшить ликвацию можно последовательной (направленной) кристаллизацией отливки. Уменьшением содержания вредных примесей в стали (серы, фосфора) и газов получают аналогичные результаты. Необходимо отметить, что в толстостенных стальных отливках ликвационную неоднородность можно уменьшить, но нельзя совсем устранить, что обусловлено характером процесса усадки. Если нельзя создать условия для последовательной кристаллизации отливки, следует применять такой способ ее питания, который бы обеспечил подачу в прибыль горячего металла с пониженным содержанием углерода. При этом доливать металл надо периодически, поддерживая стабильный уровень металла в прибыли. Следовательно, для описываемой техноло-

гии уменьшения ликвации доливаемый в прибыль металл должен содержать небольшое количество ликвирующих элементов и быть перегретым до высоких температур.

Основным средством борьбы против зональной ликвации в фасонных стальных отливках является правильный выбор конструкции отливки, применение питателей, а также деаэрация жидкого металла.

Задерживая затвердевание больших стальных отливок, можно создать условия, при которых все всплывающие ликваты сконцентрируются в прибыли. Однако на практике ликваты не могут всплыть из-за повышенной вязкости расплава. При разработке технологии литья сложных фасонных отливок необходимо выбирать сплавы, которые имеют меньшую склонность к ликвации.

50. Флокен – дефект в виде разрыва тела отливки под влиянием растворенного в стали водорода и внутренних напряжений, проходящего полностью или частично через объемы первичных зерен аустенита.

Примечание. Флокен в изломе термически обработанной пробы (отливки) имеет вид сглаженных поверхностей без металлического блеска (матового цвета) на общем сером фоне волокнистой составляющей.

КОНТРОЛЬ И АТТЕСТАЦИЯ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Контроль точности отливок проводят на соответствие их параметров: классу точности размеров, степени коробления, степени точности поверхности, классу точности массы. Аттестация точности отливок – установление действительных значений параметров точности отливок и отнесение их к фактическому классу точности размеров (массы) по ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.).

На всех подлежащих контролю (аттестации) параметрах на чертежах отливок или в других документах, касающихся контроля качества продукции, должны быть указаны номинальные значения и допускаемые отклонения в соответствии с ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) (на параметры шероховатости – в соответствии с ГОСТ 2789–73* и ГОСТ 25142–82).

18.1. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ

Контроль размеров отливок связан с их механической обработкой (разметка), а также с целью определения фактического класса точности размеров по результатам замеров по ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.). Разметка отливок проводится на трех–пяти отливках от баз, которые совпадают с базами механической обработки, и позволяет определить достаточность припуска на обработку.

Действительный припуск колеблется от минимальной до максимальной величины.

В единичном и мелкосерийном производстве колебание припуска не имеет существенного значения, поскольку каждая деталь обрабатывается с индивидуальных настроек. При обработке отливок на поточных линиях или на обрабатывающих центрах, имеющих фиксированную настройку, может сниматься слой металла увеличенной в случае максимального или уменьшенной в случае минимального припуска толщины. В обоих случаях возможна повышенная нагрузка на режущий инструмент и его поломка: в первом случае из-за увеличенной толщины снимаемого слоя, во втором – из-за повышенных механических свойств «корки» с окалиной.

Причинами, по которым необходим контроль размеров, также является смещение бобышек на протяженных отливках в результате неравномерной по длине усадки отливок. Рекомендуется контролировать следующие показатели качества отливок:

- номинальные размеры от баз до обрабатываемых поверхностей;
- диаметры отверстий и расстояния между их осями;
- отклонения формы и расположения поверхностей;
- неровность и шероховатость наиболее грубых поверхностей;
- массу отливок.

18.1.1. Методы и средства контроля

Контроль размеров в индивидуальном и серийном производстве различается методами и средствами его выполнения. В единичном производстве для этого применяется универсальный инструмент для измерения (мерительный инструмент), его выбор зависит от сложности отливки и необходимой точности измерений. Из данных, приведенных в табл. 18.1, следует, что применение микрометра и рулетки с ценой деления 1 мм обеспечивает одинаковую точность измерений: в первом случае – для небольшого размера, во втором – для протяженной отливки длиной 2 м. Для измерения малых размеров следует использовать штангенциркули с ценой деления 0,10...0,05 мм, а не линейки, которые не дают необходимой точности.

Таблица 18.1

Относительная ошибка измерений при использовании различных инструментов

Измеряемый размер, мм	Инструмент	Цена деления, мм	Относительная ошибка измерений, %
20	Микрометр	0,01	0,05
2000	Рулетка	1	0,05
20	Штангенциркуль	0,1	0,5
20	Линейка	1	5

Контроль размеров отливок сложной конфигурации в индивидуальном производстве совмещают с операцией разметки. Для этого используют разметочные плиты, штангенрейсмасы, призмы и подставки, угломеры, угольники, штангенциркули. В настоящее время могут применяться измерительные комплексы, которые представляют собой разметочную плиту со смонтированной на ней координатно-измерительной машиной, результаты измерений от которой поступают на ЭВМ.

Использование универсального мерительного инструмента сопряжено со снижением производительности, поэтому для контроля используют концевые меры длины, например калибры в виде скоб или пробок, шаблоны и т.п. Однако эти приспособления позволяют контролировать

только один размер, на который они настроены. Если отливку контролируют по многим размерам, то используются специальные приспособления. В тех случаях, когда применение скоб (пробок) затруднено конфигурацией детали, для контроля отливок можно рекомендовать приспособление (рис. 18.1), состоящее из основания 7, базовых поверхностей 2, кронштейна 5 с датчиками размеров 4, прижимов 1, мнемосхемы 6. Отливка 3 устанавливается на приспособление, фиксируется прижимами, кронштейн приводится в рабочее положение. Результаты измерений отражаются на мнемосхеме.

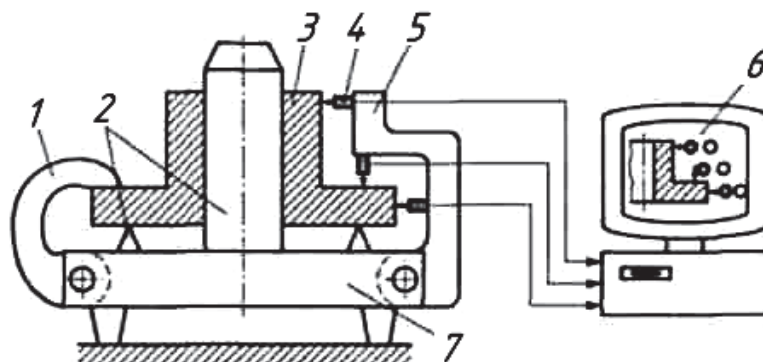


Рис. 18.1. Приспособление для контроля размеров отливок: 1 – прижим; 2 – базовые поверхности; 3 – отливка; 4 – датчик размера; 5 – кронштейн; 6 – мнемосхема; 7 – основание

В тех случаях, когда номенклатура контролируемых изделий не постоянна, следует применять переналаживаемые кондукторы, которые состоят из набора унифицированных деталей: колонок, соединенных элементов, призм для базирования, элементов для крепления датчиков и т.д.

В массовом производстве выполнение контрольных операций сопряжено с большим объемом работ, что может привести к неоправданно большому штату контролеров и большому числу наименований контролируемой оснастки. Для решения этой проблемы существуют два пути.

Первый – автоматизация операций контроля при сплошном контроле. Данный путь, позволяющий существенно повысить производительность труда, реализован для отливок простой конфигурации, таких, как, например, гильзы блока цилиндров, наружные размеры которых контролируют на проходных автоматах.

Второй – выборочный контроль, применяемый в условиях стабильного технического процесса и предполагающий обязательное выполнение контрольных операций самого процесса.

Например, контроль температуры заливки, влажности смеси, плотности формы, температуры выбивки и др. Стабильность контролируе-

мых параметров позволяет иметь стабильные размеры отливки, следовательно, и распространять результаты контроля выборки на всю партию отливок.

Контроль (аттестацию) линейных размеров выполняют в местах, ориентированных относительно определенной части отливки (например, мест подвода металла) и исключая влияние формовочных уклонов. Так, измерение внешнего диаметра D выполняется на постоянной высоте Δ_1 , равной длине губок штангенциркуля (рис. 18.2, а).

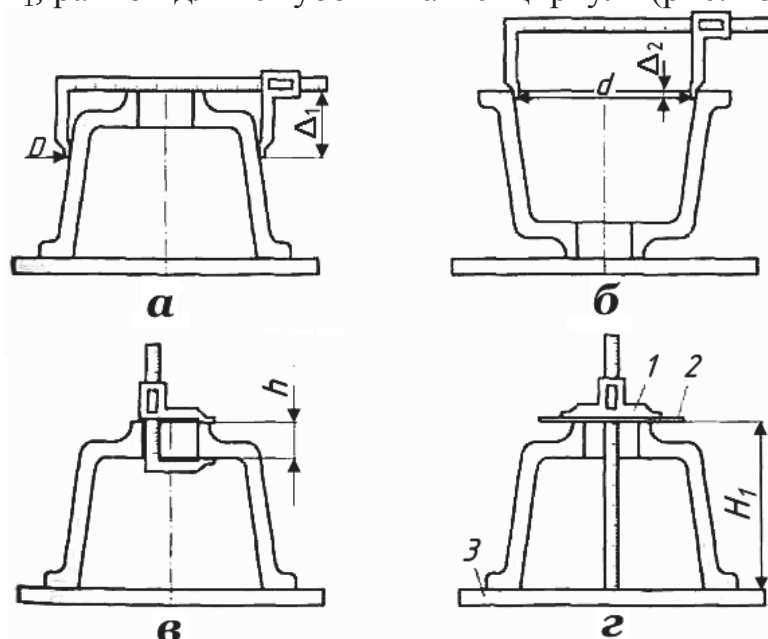


Рис. 18.2. Контроль размеров отливки тормозного барабана измерением наружного (а) и внутреннего (б) размеров, толщины (в) и глубины (г): 1 — глубиномер; 2 — пластина постоянной толщины; 3 — ровная плита; Δ_1 — постоянная высота, на которой контролируется внешний диаметр отливки; Δ_2 — то же, внутренний диаметр; H_1 h — контролируемые размеры отливки

При измерении внутреннего d диаметра штангенциркуль устанавливают до упора уступов, равных их высоте Δ_2 на поверхность отливки (рис. 18.2, б). Измерение толщин h стенок отливок выполняется в одних и тех же точках (с ориентацией каждой отливки относительно подвода металла) при плотном контакте поверхностей штангенциркуля и отливки (рис. 18.2, в). В измерениях должно быть исключено влияние отклонений формы и расположения поверхностей, а также неровности поверхности. Для этого применяют специальные методы измерений. Примером экспериментального определения общего допуска может служить измерение высот H_1 и H_2 , которое проводят с использованием ровной плиты 3, пластины постоянной толщины 2 и глубиномера 1 (рис. 18.2, г и рис. 18.3, а).

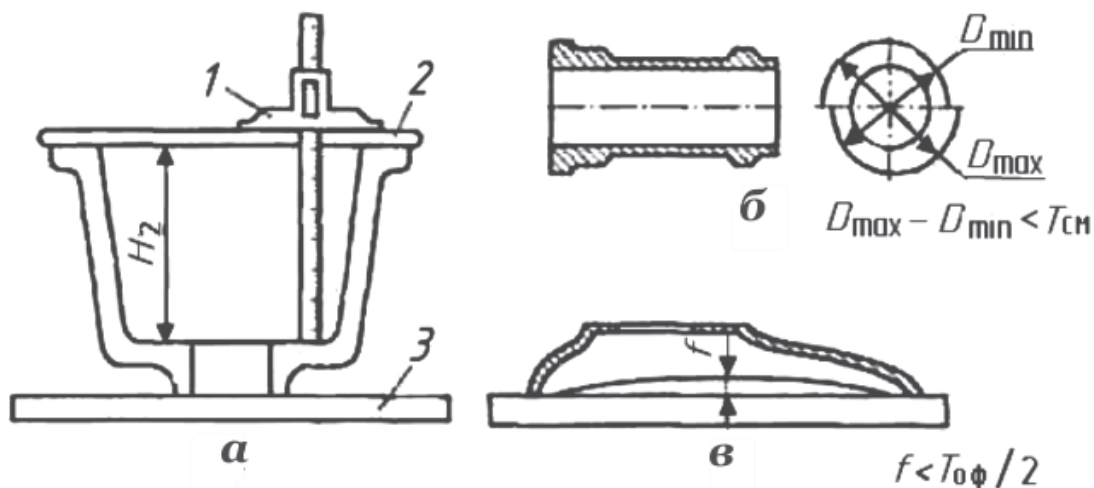


Рис. 18.3. Контрольные замеры отливки: а – тормозной барабан; б – гильза; в – крышка; 1 – глубиномер; 2 – пластина; 3 – плита; $D_{\min}$, $D_{\max}$ – минимальный и максимальный диаметры из-за смещения $T_{\text{см}}$; $T_{0\phi}$ – допуск формы и расположения; f – стрела прогиба

Измерение выполняют в трех наиболее удаленных одна от другой противоположных точках нормируемого участка на поверхности отливки для всей партии. При этом на измеряемые размеры оказывают влияние погрешности формы (искривление) поверхностей и расположения (непараллельность) поверхностей. При статистической обработке результатов всех измерений определяют общий допуск, включающий допуск размера, допуски формы и расположения поверхностей.

Контроль коробления осуществляют посредством измерения стрелы прогиба f с использованием ровной плиты по схеме, приведенной на рис. 18.3, в.

18.1.2. Определение объемов партии и выборки для проведения контроля точности размеров

После выбора контролируемых размеров, методов и средств контроля необходимо установить план выборочного (статистического) контроля. Объем партии, предъявляемый на контроль, выбирают исходя из условий производства и поставки. Основное требование к партии – однородность продукции (продукция должна быть изготовлена по возможности в одних и тех же производственных условиях, из сырья одной марки и т.д.). Объем выборки определяют в соответствии с ГОСТ 18321–73* (изм. № 1, 1985 г.) по табл. 18.2.

В табл. 18.2 AQL – приемочный уровень дефектности, который для целей приемки продукции рассматривается как удовлетворительный и который устанавливают по соглашению между изготовителем и заказ-

чиком, исходя из технико-экономических условий. По объему выборки и величине AQL из табл. 18.2 находят приемочное число C отливок в выборке, т.е. наибольшее допустимое количество дефектных отливок в выборке. Если $C = 0$, то в выборке не должно быть ни одной дефектной отливки. Отливка считается дефектной, если хотя бы один контролируемый размер (масса) выходит за пределы допуска указанного класса размерной точности на чертеже отливки.

Таблица 18.2.

Приемное число отливок C в выборке

Объем сдаваемой партии, шт.	Объем выборки n , шт.	Приемочное число C , шт., в зависимости от уровня дефектности AQL , %	
		1,5	2,5
51–90	13	0	0
91–150	20	1	1
151–280	32	1	2
281–500	50	2	3
501–1200	80	3	5
1201–3200	125	5	7
3201–5000	200	7	9

Результат считается отрицательным, если число дефектных отливок больше табличных значений C . При отрицательных результатах контроля партия отливок, подлежащих контролю, удваивается, при этом удваивается число C . При отрицательном повторном результате партия бракуется или, по согласованию с заказчиком, используется сплошной контроль для сдачи годных отливок. Возможно также проведение аттестации выборки, т. е. определение фактического класса точности размеров и массы отливки принятой партии, при согласии заказчика, по этому классу с корректировкой цены.

18.1.3. Пример проведения контроля

Необходимо проконтролировать партию отливок объемом 100 шт. по размеру 100 мм, который должен соответствовать 10 классу точности (KP10) с симметричным допуском 2,8 мм ($\pm 1,4$ мм). При контроле выборки $n = 20$ обнаружены две дефектные отливки. В соответствии с табл. 18.2 результат считается отрицательным для уровня дефектности $AQL = 2,5$ %, так как приемочное число $C = 1$. Необходимо повторить контроль отливок при удвоенном числе отливок в партии.

18.1.4. Аттестация точности отливок

Аттестацию точности отливок можно проводить по той же выборке, которая была принята для контроля точности размеров. Последовательность действий, определяющая алгоритм решения задачи при аттестации, следующая.

1. Измеряют значение параметра X_i ; (размер, масса) на каждой i -й отливке выборки объемом n и получают ряд измерений $X_1 X_2 \dots X_n$.
2. Находят среднеарифметическое значение $\bar{X}$.
3. Вычисляют среднеквадратическое отклонение S параметра (размера, массы).
4. Находят верхнюю X_B и нижнюю X_H границы доверительного интервала рассеивания параметра:

$$X_B = \bar{X} + tS; \quad (18.1)$$

$$X_H = \bar{X} - tS, \quad (18.2)$$

где t – квантиль, соответствующая доверительной вероятности $P = 1 - AQL$ и объему выборки n и определяемая по табл. 18.3.

Таблица 18.3.

Значения квантили

Приемочный уровень де- фектности AQL, %	Квантиль t при объеме выборки n , шт.						
	13	20	32	50	80	125	200
1,5	3,20	2,95	2,76	2,62	2,53	2,48	2,46
2,5	2,97	2,73	2,56	2,44	2,34	2,28	2,26

По ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) подбирают такой наименьший класс точности размеров и массы, чтобы найденный доверительный интервал укладывался в поле допуска параметра, т.е. чтобы нижняя (верхняя) граница интервала была больше или равна (меньше или равна) наименьшему (наибольшему) отклонению размера. Этот класс и принимается за фактический класс точности.

18.1.5. Аттестация и определение фактического класса точности размеров

Для аттестации класса точности размеров принята та же, что и в подразд. 18.1.3, партия отливок объемом 100 шт. по размеру 100 мм с выборкой $n = 20$ отливок и $AQL = 2,5$ %. После измерений всех 20 отливок выборки и обработки данных получены следующие результаты:

$$X = 100,5 \text{ мм}, S = 0,45 \text{ мм}.$$

Используя данные табл. 18.3 для $AQL = 2,5 \%$, находим квантиль $t = 2,73$ и вычисляем границы доверительного интервала

$$X_B = \bar{X} - tS = 100,5 - 2,73 \cdot 0,45 = 99,3 \text{ мм};$$

$$X_H = \bar{X} + tS = 100,5 + 2,73 \cdot 0,45 = 101,7 \text{ мм}.$$

При сравнении найденных границ с размером 100 мм и допусками для разных классов см. ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.) установлено, что фактически рассматриваемый размер относится к классу размерной точности КР11т (рис. 18.4), несмотря на то, что по доверительному интервалу ($\pm 1,2$ мм) он может быть отнесен к классу КР10, допуск по которому равен $+1,4$ мм. Причиной отнесения размера к более «грубому» классу (с меньшей точностью размеров) является систематическая погрешность, равная 0,5 мм, которая складывается с половиной доверительного интервала (1,2 мм), а полуденная сумма (1,7 мм) сравнивается с половиной допуска (1,4 мм для КР10 и 1,8 мм для КР11т).

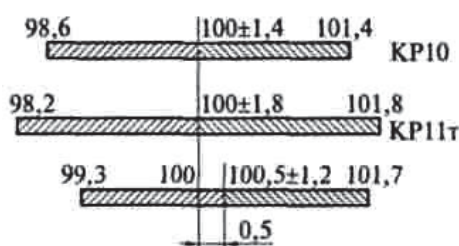


Рис. 18.4. Пример определения фактического класса точности размеров отливок: КР10 и КР11т – класс точности размеров по ГОСТ 26645–85

Систематическая погрешность может быть устранена корректировкой модельно-стержневой оснастки. В этом случае размер 100 мм будет соответствовать КР10 без вмешательства в технологический процесс изготовления отливки.

18.1.6. Корректировка модельно-стержневой оснастки

Установленная в предыдущем примере (подразд. 18.1.5) систематическая погрешность, равная 0,5 мм, может быть устранена уменьшением размера оснастки. При этом возможны следующие варианты.

Если рассматриваемый размер отливки является расстоянием между необрабатываемыми поверхностями, то соответствующий размер модельно-стержневой оснастки можно уменьшить на 0,5 мм. Отливки, изготовленные с использованием скорректированной таким образом оснастки, могут быть, очевидно, отнесены к более точному классу –

КР10, так как допуск по ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.), равный +1,4 мм, будет больше доверительного интервала, равного +1,2 мм.

Если рассматриваемый размер отливки является расстоянием между обрабатываемыми поверхностями, то соответствующий размер модельно-стержневой оснастки следует уменьшить на 0,4 мм, чтобы иметь запас, равный 20 % систематической погрешности, во избежание появления черноты при обработке отливки из-за погрешностей формы и расположения базовой и обрабатываемых поверхностей. Верхняя граница доверительного интервала размера отливки, изготовленной по скорректированной оснастке, будет равна $100,5 - 0,4 + 1,2 = 101,3$ мм, и точность размера может быть отнесена к классу КР10, в соответствии с которым наибольший допустимый размер равен $100,0 + 1,4 = 101,4$ мм (рис. 18.4).

Появление систематической погрешности связано с неправильным назначением линейной усадки отливки при проектировании модельно-стержневой оснастки. В рассматриваемом примере линейная усадка отливки на размере 100 мм при проектировании была принята равной 0,5 %, а сам размер оснастки составил 100,5 мм. Действительный средний размер отливки оказался равным также 100,5 мм. Следовательно, действительная линейная усадка отливки на рассматриваемом размере оказалась равной 0 %.

Линейная усадка отливки зависит не только от линейной усадки сплава, но и от взаимодействия сплава с формой, в частности от расширения литейной формы, движения стенок формы под действием давления металла и т.д.

18.2. КОНТРОЛЬ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

Необходимость контроля чистоты поверхности отливок обусловлена следующими основными признаками:

- заданный товарный вид изделия, который в значительной степени зависит от состояния поверхности;
- снижение концентрации напряжений на гладкой поверхности – большие микронеровности (0,4...0,5 мм) являются концентраторами напряжений, вблизи которых возникают микротрещины, увеличивающиеся в размерах в процессе эксплуатации;
- повышение качества окрашивания отливок и снижение расхода краски – на шероховатой поверхности удерживается более толстый слой краски за счет капиллярных сил, кроме того, около больших микронеровностей краска удерживается слабо, в результате в этих местах возможно ее отслоение;

– недопустимость пригара, особенно на внутренних поверхностях картерных отливок (отслоение пригара в процессе эксплуатации приводит к преждевременному абразивному износу узлов).

Для контроля чистоты поверхности используют профилографы, профилометры и эталоны.

Профилографы наряду с измерением высоты микронеровностей позволяют фиксировать их профиль. Приборы эти дорогие, применяют их в исследованиях, например, при подборе формовочной смеси, так как форма зерна влияет на микронеровности. Профилограммы снимают в случае получения уникальных отливок, технические условия на которые требуют представления профиля микронеровностей, или на стадии обработки технологического процесса при подборе формовочных материалов.

Профилометры используют чаще, чем профилографы, и для широкой номенклатуры отливок. Известны пьезоэлектрические, пневматические и оптические профилометры с прямым и косвенным измерением микронеровностей. В пьезоэлектрическом профилометре (рис. 18.5) образец 1, установленный на каретке 2, перемещают относительно иглы 3, которая скользит по поверхности образца и от соприкосновения с микронеровностями колеблется.

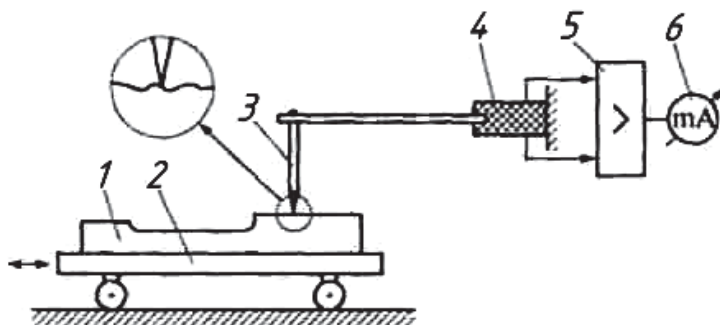


Рис. 18.5. Пьезоэлектрический профилометр: 1 – образец; 2 – каретка; 3 – игла; 4 – пьезоэлемент; 5 – усилитель; 6 – фиксирующий прибор

Колебания иглы преобразуются с помощью пьезоэлемента 4 в пропорциональный высотам микронеровностей электрический сигнал, который усиливается в блоке 5 и фиксируется прибором 6. Профилометры бывают стационарными и переносными. На стационарных профилометрах измеряют небольшие отливки или специально отлитые образцы, а переносные можно использовать в цеховых условиях для отливок любых размеров.

Работа пневматических профилометров основана на пропускании воздуха в зазор (поры) между зеркальной поверхностью колпака и ше-

роховатой поверхностью отливки. Чем выше микронеровности на отливке, тем больше величина зазора, а, следовательно, и расход воздуха. Измерения на данном приборе сводятся к прикладыванию измерительного колпачка со шлангом к поверхности отливки, при этом следят за показаниями расходомера.

Измерения с помощью оптического профилометра (микроскопа Линника) занимают много времени и редко применяются литейщиками.

Контроль по эталонам наиболее универсален, поскольку не требует разрушения отливки и применения сложных приборов. Эталоны представляют собой набор пластин с разной чистотой поверхности. Высоты микронеровностей в каждом случае измерены и нанесены на обратной стороне эталона. Контроль по эталонам заключается в сравнении поверхности отливок с эталонами и подборе наиболее соответствующего из них, характеристики которого и присваивают отливке. Сравнение проводят в условиях необходимой освещенности контролируемого места и эталонов от бокового светового луча, направляемого к поверхности под углом 45° .

18.3. КОНТРОЛЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Контроль химического состава сплавов особенно актуален по ходу плавки, поскольку его результаты используются для корректировки состава, тем самым данная категория брака исключается практически полностью. Существенную роль играет время проведения анализа, которое должно быть по возможности минимальным. Многие годы литейщики пользовались технологическими пробами, например клиновой, дающими весьма приближенное представление о химическом составе. Химический анализ дает точные результаты, но трудоемок и длителен. В последние десятилетия разработаны экспрессные методы контроля химического состава, обеспечивающие высокую точность получаемых результатов.

Из большого числа этих методов в литейном производстве применение нашли термографический метод, метод термо-ЭДС, химический по анализу состава газов и спектральный.

18.3.1. Термографический контроль углеродного эквивалента

Метод термографического контроля, основанный на зависимости состава сплава от значений температур ликвидуса и солидуса, нашел применение в основном при контроле чугунов доэвтектического и эвтектического состава. В связи с тем, что чугуны – это сложные сплавы, в состав кото-

рых наряду с железом и углеродом входят кремний, марганец, фосфор, сера и ряд других элементов, влияющих на положение линий ликвидуса и солидуса на диаграмме состояния, совместное влияние всех перечисленных компонентов сплава учитывается углеродным эквивалентом $C_{ЭКВ}$, для вычисления которого служат многочисленные уравнения, отражающие влияние многих компонентов чугуна. На практике для вычисления $C_{ЭКВ}$ ограничиваются учетом зависимости от содержания углерода, кремния и фосфора, а в ряде случаев (например, для чугунов с низким содержанием фосфора) только углерода и кремния. Углеродный эквивалент используют при составлении уравнений для вычислений температур ликвидуса (T_L) и солидуса (T_C). На решении таких уравнений основан термографический метод, при котором экспериментально, по результатам записи кривых охлаждения сплавов, определяют T_L и T_C . Следует помнить, что величины коэффициентов уравнений регрессии зависят от конструкции формы, в которой отливают образец, и типа сплава. Для формы, показанной на рис. 18.6, в, при литье серых чугунов уравнения регрессии имеют вид

$$T_L = 1647 - 118,2(C + 0,25Si + 0,5P); \quad (18.3)$$

$$T_C = 1138 - 6,4(Si + 4P); \quad (18.4)$$

$$C = -5,86 - 0,00819T_L + 0,017T_C. \quad (18.5)$$

Уравнения 18.3–18.5 образуют систему из трех уравнений с тремя неизвестными (содержание C , Si и P). Значения T_L и T_C находятся при анализе. Решение системы позволяет найти содержание исходных компонентов.

Запись кривых охлаждения проводится на цилиндрических образцах, отливаемых в разовые формы, конструкции которых показаны на рис. 18.6, а – в. Как правило, форму 1 изготавливают из термореактивной смеси. Для измерения температуры в форме размещена термопара 2. По схеме (рис. 18.6, а) она помещена в керамическую трубку 3; спай и внутренняя поверхность формы окрашены термостойкой краской.

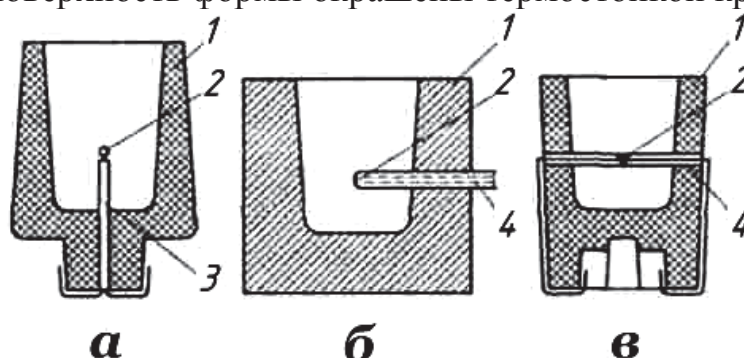


Рис. 18.6. Формы с термопарами для заливки образцов в термографическом методе: а, б, в – варианты размещения термопары; 1 – форма; 2 – спай термопары; 3 – керамическая трубка; 4 – чехол из плавленного кварца

В схемах на рис. 18.6, б и в термопара защищена чехлом 4 из плавленного кварца. Термопара соединена с самописцем, записывающим кривую охлаждения. Прибор для термографического анализа состоит из самописца, формы и штатива для ее установки. Располагают прибор чаще всего на плавильном участке в непосредственной близости от печей. Для анализа плавильщик специальной ложкой отбирает из печи порцию расплава и заливает его в форму. Самописец прибора чертит кривую охлаждения, фиксируя $T_{\text{л}}$ и $T_{\text{с}}$.

Современные термографические устройства снабжены микропроцессорами, фиксирующими температуры ликвидуса и солидуса, а также выполняющими расчет по уравнениям регрессии.

18.3.2. Спектральный контроль

Первые эмиссионные спектрометры прямого считывания (квантометры) для нужд литейного производства появились в странах Западной Европы в начале 1960-х гг. За более чем 45 лет практического использования квантометры в литейных цехах зарекомендовали себя как надежные и эффективные технические средства для выполнения химического анализа сплавов по ходу плавки. В качестве примера рассмотрим организацию контроля химического состава металла в чугунолитейном цехе ВАЗа.

Квантометр является точным прибором, поэтому в помещении металлургической лаборатории он установлен в отдельной комнате с кондиционируемой атмосферой. В соседней комнате расположен пункт подготовки образцов, куда проведена трасса пневмопочты от плавильного участка. Из плавильной печи пробу отбирают в медный тигель. Далее из отобранной пробы получают плоский образец для анализа химического состава на квантометре и проволоочные образцы для определения содержания углерода и серы методом сжигания в кислороде. После охлаждения образцы легко отбивают от литниковой чаши, укладывают вместе с бланком для результатов анализа в патрон пневмопочты, которым они доставляются на пункт подготовки образцов. При взятии пробы плавильщик заполняет бланк, в котором указывает номер плавки, дату и время ее проведения. Подготовка образца для квантометра сводится к зачистке одной из его плоских поверхностей на полировальном станке с горизонтальными дисками. Подготовленный образец вместе с бланком передается на анализ. Анализ химического состава занимает не более 1 мин, за это время на экран дисплея или на бумагу выводятся результаты анализа.

Результаты анализа передают на плавильный участок по селектору, а затем заносят в бланк и возвращают пневмопочтой. Полное время на анализ от момента взятия пробы и до получения результатов составляет 5... 10 мин.

18.4. КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Герметичность контролируют у отливок, работающих под избыточным давлением. К числу таких отливок относятся корпуса насосов, задвижек и кранов, детали двигателей внутреннего сгорания, отливки для судостроения, авиации, космонавтики и атомной энергетики. Задачей контроля на герметичность является установление факта наличия или отсутствия течи в отливке, поэтому данные методы контроля называют «течеисканием».

Методы течеискания основаны на создании избыточного давления агента во внутренней полости отливки и последующем наблюдении за его изменением (в случае течи агент появляется на наружной стенке). Схема установки для контроля показана на рис. 18.7.

Отливку 1 через уплотнение 4 с помощью силового механизма 2 прижимают к основанию 5. В основание под давлением по трубопроводу 8 подают агент (жидкость или газ). Давление агента измеряют манометром 6, кран 7 служит для отсечки давления. Наружную поверхность отливки освещают лампой 3. После закачивания в полость отливки агента и отсечки магистрали давление внутри за счет естественных утечек снижается с определенной скоростью. Если скорость падения давления превышает заданную величину, то в отливке имеется течь, координаты которой определяют по месту появления агента снаружи отливки.

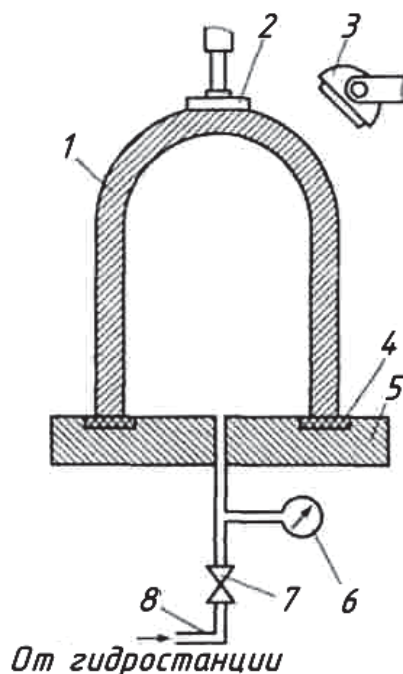


Рис. 18.7. Установка для контроля герметичности: 1 — отливка; 2 — силовой механизм; 3 — лампа, 4 — уплотнение; 5 — основание; 6 — манометр; 7 — кран; 8 — трубопровод

В качестве агента используют жидкости и газы, выбор которых связан с условиями службы отливки. Отливки, используемые в гидротехнических устройствах, контролируют водой или керосином. Последний обладает большей проникающей способностью, однако, в отличие от воды, образует жирные пятна в местах течи, которые трудно различимы на литой поверхности. Для лучшего распознавания керосиновой течи поверхность отливки окрашивают меловым или глинистым составом. После высыхания поверхность отливки приобретает равномерную светлую окраску, керосиновые пятна на которой становятся хорошо заметными.

Головку блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания проверяют водой при давлении в водопроводной сети (0,3 ... 0,4 МПа). Воду подают в полости рубашки охлаждения и ведут наружное наблюдение за поверхностью. Головка блока цилиндров имеет сложную конфигурацию, и тонкие стенки часто оказываются пораженными дефектами в виде спаев и неслитин. Данные дефекты обнаруживают себя, на поверхности появляются течи воды. Вода протекает через места внутренних дефектов.

Корпусы клапанов контролируют, используя воду и давление в 1,5–2 раза больше рабочего (12...20 МПа). Прикладывая начальное давление, следят в течение 10... 15 мин за его падением, которое должно составлять 10 % от начального. В качестве агента чаще применяют воду, подкрашенную люминофором. Отливку освещают ультрафиолетом, что облегчает обнаружение течи.

Для особо ответственных отливок, в том числе работающих в вакууме, в качестве агента используют инертный газ, который, имея малую вязкость, хорошо проникает через поры. Визуально обнаружить течь газа невозможно, поэтому применяют щупы газоанализаторов, которые перемещают над поверхностью отливки, и следят за показанием измерительного прибора, например за стрелками миллиамперметра. Место течи помечают, а для детального обследования микродефектов применяют лупу.

18.5. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ

Применяемые методы измерения температуры подразделяют на прямые и косвенные. К прямым методам измерения температуры относятся контактные, осуществляемые с помощью термометров, термопар и термометров сопротивления. Косвенные (бесконтактные) методы измерения температуры осуществляются оптическими, яркостными и радиационными пирометрами. Область литейного производства охватывает почти все применяемые методы контроля температуры, однако наибольшее распространение получили термопары и пирометры.

Номенклатура применяемых в литейном производстве термопар достаточно широка, однако все их можно подразделить на три группы:

- термопары из неблагородных металлов;
- из благородных металлов,
- высокотемпературные термопары.

Термопары первой группы наиболее распространены в промышленности, в основном в силу своей дешевизны, сравнительно высокой точности и воспроизводимости результатов. К числу таких термопар относятся: медьконстантановая (МК, диапазон измеряемых температур 200...350 °С), железоконстантановая (ЖК, 0...800 °С), хромель-алюмелевая (ХА, 200... 1000 °С), хромель-константановая (ХК, 200... 1000 °С). Наиболее точной среди названных является МК-термопара. В то же время ЖК-термопары дешевы, чувствительны, надежны, мало окисляются, верхний предел измеряемой ими температуры в восстановительной атмосфере достигает 950 °С. Срок службы ЖК-термопар достигает 1000 ч. ХА-термопары имеют самый широкий диапазон рабочих температур, наиболее устойчивы к окислению, имеют линейную зависимость в диапазоне температур 0... 1000 °С. Срок службы ХА-термопар зависит от температуры и составляет более 1000 ч при 1000 °С, 200 ч при 1100 °С и всего несколько часов при 1200 °С.

Термопары из благородных металлов обладают наибольшей точностью, стабильностью и воспроизводимостью. Высокий уровень названных свойств объясняется химической инертностью материала термоэлектродов и высокой степенью чистоты и однородности. Термопары этой группы применимы для измерения высоких температур, вплоть до 2000 °С. Самое широкое распространение получили сплавы платины с родием – платинородиевые термопары (ПР). Градуированные характеристики ПР-термопар зависят от содержания родия в сплаве, при содержании родия 6...40 % термо-ЭДС вырабатывается при температуре выше 200 °С, а верхний предел составляет 1800 °С. У платино-платинородиевых термопар один термоэлектрод выполнен из чистой платины, а другой содержит 10 % или 13 % родия. Такие термопары имеют градуировку от 0 до 1600 °С.

Верхний предел высокотемпературных термопар достигает 3000 °С. Термоэлектроды таких термопар изготавливают из вольфрама, молибдена, рения или сплавов этих металлов. Данные термопары не обладают высокой стабильностью из-за наличия в них примесей, процентное содержание которых может достигать 1 %. Вольфрамрениевые термопары (ВР-термопары) наиболее удачные в этой группе, они обладают высоким значением рабочих температур – до 3000 °С. Этот верхний предел достигается в случае применения оголенных термоэлектродов, так как уже при температуре 2400 °С керамическая изоляция шунтирует термопару.

Вольфраммолибденовая термопара (ВМ-термопара) недорога, работает в восстановительных атмосферах, однако при длительной эксплуатации проволока охрупчивается, вблизи 1200 °С термопара меняет полярность.

В литейной практике применяют пирометры трех типов: яркостные, цветовые, радиационные. Каждый из названных пирометров действует по своему принципу, основанному на действии определенного закона. Остановимся на этом подробнее.

Яркостные пирометры в своем классическом варианте служат для измерения температуры, при которой тело испускает видимое излучение, светится. Пределы измеренных температур от 800 до 2400 °С, точность измерения $\pm (2... 3) \%$. В практическом контроле нашли широкое применение яркостные пирометры ОППИР-09, ОППИР-017, ИКМ-10 и «Проминь», которые применяют для контроля температуры металла в ковшах или индукционных печах. Следует иметь в виду, что находящийся на поверхности металла шлак и излучение футеровки, находящейся выше уровня металла, вносят погрешность в связи с различными коэффициентами черноты излучения. Однако данная погрешность является систематической и может быть учтена в каждом конкретном случае.

Отечественные цветовые пирометры ЦЭГТ-3М и ЦЭП-4 работают в красном и синем диапазонах длин волн. Комплект приборов состоит из датчика (головки пирометра), электронного блока и показывающего или регистрирующего прибора (самописца). В качестве приемника излучения используется фотоэлемент, установленный в головке пирометра. Электронный блок автоматически осуществляет логарифмирование сигналов, получаемых от фотоэлемента. Для удаления пыли и дыма из поля зрения объектива на нем смонтирована бленда, в которую подается сжатый воздух. Пределы измерения температуры составляют 1400...2000 °С. Вся шкала разбита на поддиапазоны с интервалами 200...400 °С. Предельная ошибка измерения цветовой температуры при 2000 °С равна $\pm 1,5 \%$.

В последнее время все большее распространение получают радиационные пирометры, у которых нижний предел измеряемой температуры составляет 20... 50 °С. Радиационные пирометры измеряют полный лучистый поток по всем длинам волн. Приемниками излучения служат термопары, одиночные или собранные в термобатарей термосопротивления и полупроводниковые пироэлектрические детекторы. Поскольку различные материалы неодинаково пропускают тепловое и световое излучение, то для повышения точности измерений радиационные пирометры выпускают со сменной оптикой, работающей в различных температурных диапазонах. В диапазоне температур 20... 500 °С используются объективы из фтористого лития или фтористого бария. Кварц приме-

няют в диапазоне 400...900 °С, при температуре выше 900 °С применяют оптическое стекло.

Из числа отечественных радиационных пирометров наиболее известен прибор марки РАПИР, позволяющий производить измерение температур от 100 до 2500 °С, погрешность измерений ± 8 °С, инерционность не более 0,5 °С. Зарубежные образцы радиационных пирометров (в основном США и Японии) отличаются меньшей погрешностью (± 1 °С) и порогом чувствительности $\pm 0,1$ °С. Кроме того, они снабжены цифровыми индикаторами температуры, встроенными микропроцессорами, реализующими запоминание средней, максимальной или минимальной температуры за время измерений, коррекцию излучательной способности, автокалибровку прибора и другие функции.

Поскольку детекторы радиационных пирометров чувствительны к широкому диапазону длин волн, фоновое излучение может вносить существенную погрешность в результаты измерений. Здесь также уместно упомянуть о поглощении инфракрасного излучения атмосферой, разделяющей нагретое тело и детектор. Инфракрасное излучение может поглощаться или рассеиваться. Погрешность в показаниях радиационных пирометров по этой причине велика. Так, например, присутствие в атмосфере печи 2...8 % CO₂ снижает показания пирометра в среднем на 10 °С. Такую же погрешность дает присутствие пыли в атмосфере литейного цеха. Дым, выделяющийся из формы или при модифицировании, снижает показания на 100 °С.

Разработана система непрерывного измерения и контроля температуры жидкого металла, которая монтируется на плавильных печах, миксерах и разливочных устройствах непрерывного действия для чугуна. Интервал измеряемой температуры 700... 1700 °С, точность измерений 1 %. Система состоит из световода головки пирометра и электронного блока. Одним концом световод соприкасается с расплавленным металлом, к другому подсоединена головка пирометра. Стержень заделан в футеровку с помощью специальной обмазки, обеспечивающей надежную герметизацию. Головка к стержню подсоединена через защитный кожух, куда подводится сжатый воздух для охлаждения стержня. Электронный блок связан с головкой кабелем, что обеспечивает возможность установки блока в любом удобном месте, например на пульте плавильной печи. Блок имеет цифровой индикатор температуры и печатающее устройство, фиксирующее в определенные моменты времени результаты измерений на бумажной ленте. Основным достоинством систем со световодами является то, что они полностью исключают влияние фонового излучения.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

В данной главе рассматриваются вопросы проектирования технологического процесса изготовления отливок в песчано-глинистые формы. В результате проектирования разрабатывается графическая часть проекта и пояснительная записка. В свою очередь, графическая часть проекта технологического процесса изготовления отливок включает в себя: 1) чертеж отливки; 2) чертеж технологии литейной формы; 3) чертежи модельных комплектов. Роль пояснительной записки в цехе выполняют следующие документы: 1) технологическая карта; 2) маршрутная карта; 3) операционная карта.

Чертеж отливки. Этот документ является обязательным, поскольку по чертежу проводится приемка готовых отливок ОТК или заказчиком, а также их сертификация. Чертеж отливки с техническими требованиями должен содержать все данные, необходимые для изготовления, контроля и приемки отливки. Чертеж выполняется согласно ГОСТ 3.1125–88. В единичном и мелкосерийном производствах обычно пользуются чертежом детали, на который наносят технологию литейной формы. Чертеж отливки в этом случае не разрабатывают. По ГОСТ 3.1125–88 допускается также выполнять чертеж отливки на копии чертежа детали.

Чертеж технологии литейной формы. Документами, на основании которых изготавливается модельно-стержневая оснастка в единичном и мелкосерийном производствах, является чертеж литейной формы в сборе или чертеж детали с нанесенной технологией. Разрабатывается подробный чертеж с элементами литниковой системы или схема технологической проработки без элементов литниковой системы. Чертеж выполняется согласно ГОСТ 3.1125–88.

На основании чертежей отливки и технологии литейной формы технолог-литейщик prepares техническое задание на изготовление модельного комплекта. В техническое задание входят собственно чертежи отливки и технологии литейной формы, а также эскиз модельной плиты с размещенными на ней моделями и трассировкой элементов литниковой системы. Все сечения элементов литниковой системы при этом должны

быть рассчитаны или взяты по аналогии. Выполняется также эскиз размещения стержней в стержневом ящике с указанием места вдувных отверстий и способа вентиляции ящика (венты или через надувную плиту), с указанием диаметра, числа вдувных отверстий, суммарной площади вент и их числа. Для выполнения исполнительных размеров модельно-стержневой оснастки технолог должен указать величину усадки. В единичном и мелкосерийном производстве, когда модельная оснастка деревянная, технолог указывает усадку в процентах. В массовом производстве технолог или конструктор-модельщик рассчитывает размеры модели, при этом обязателен ее чертеж. Как правило, принимается разная усадка в разных направлениях или для разных размеров.

Чертежи модельных комплектов. В единичном и мелкосерийном производстве модельно-стержневую оснастку изготавливает модельщик по чертежу детали с нанесенной технологией.

Чертежи модельных комплектов выполняются только в массовом производстве и включают в себя: для опочной формовки – модельные плиты с моделями и элементами литниковой системы низа, верха; для безопочной формовки – модельные плиты с элементами литниковой системы для прессовой и поворотной плит (например, АФЛ типа «DISA»). В комплект также входят чертежи стержневых ящиков для конкретной отливки. Чертежи модельных комплектов разрабатываются конструкторами технологической оснастки с учетом требований Единого стандарта конструкторской документации (ЕСКД). На основании этих чертежей модельные комплекты изготавливают в модельном цехе. Следует отметить, что разграничение обязанностей между технолог-литейщиком и конструктором технологической оснастки по проектированию технологического процесса изготовления отливок на заводах различно и во многом зависит от сложившихся традиций, наличия квалифицированных технологов, конструкторов и т.п. Часто с этим сопряжено необоснованное увеличение времени на процесс проектирования из-за необходимости согласования всех этапов работы. С появлением компьютерного проектирования доленое участие технолога в работе на стадии проектирования может увеличиться.

Технологическая карта. Выбор технологического оборудования по всем переделам и установление режимов работы представлены в технологической карте, в которой отражены данные о модельном комплексе и о технологиях плавки, смесеприготовления, изготовления

формы и стержней, сборки форм, заливки и финишных операций.

Маршрутная карта. В этом документе укрупненно отражены маршруты технологических процессов по переделам, например изготовление литейной формы, стержней и т.п.

Операционная карта. В ней представлена последовательность технологических операций на конкретном технологическом оборудовании, например на встряхивающей формовочной машине.

19.1. РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ОТЛИВКИ

При получении чертежа детали технолог проводит оценку технологичности и дает заключение о возможности изготовления данного литого изделия в литейном цехе (подробнее гл. 2).

Если возникают разногласия по технологическим параметрам или по конфигурационной сложности отливки, он заполняет карту технологичности, в которой указывает свои замечания и предложения по изменениям. Эти изменения согласовываются с конструктором.

После принятия решения об изготовлении отливки в данном литейном цехе практически только для массового производства разрабатывается чертеж отливки. При разработке чертежа отливки необходимо определить положение отливки в форме, выбрать плоскость разъема (подразд. 19.2) и место подвода металла, определить черновые базы механической обработки, точность отливки, припуски на механическую обработку, отверстия, которые получаются в литье, назначить радиусы сопряжения, литейные радиусы, литейные (формовочные) уклоны.

19.1.1. Выбор баз механической обработки

На чертеже детали должны присутствовать базы черновой обработки. К сожалению, часто такая информация на чертежах детали отсутствует, хотя без нее припуски на механическую обработку по ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) назначить нельзя. Ниже приводится алгоритм, используя который, технолог-литейщик сам может назначить черновые базы.

При выборе баз механической обработки на чертеже детали буквами помечают поверхности, на которые необходимо назначить припуски на обработку. Базы механической обработки следует определять отдельно для плоских поверхностей и для поверхностей вращения.

Определение баз механической обработки плоских поверхностей (на рис. 19.1 поверхности *A*, *B*, *E*) выполняют в следующем порядке.

Во-первых, на чертеже детали находят конструкторскую базу (для плоских поверхностей). Конструкторская база – это поверхность, относительно которой изделие базируется в узле.

Признаки конструкторской базы: данная поверхность на чертеже детали координирована с другими поверхностями большим числом размерных связей; для данной поверхности указаны более высокие требования к точности размеров, выходящих на нее, к допускам формы и чистоте поверхности (поверхность фланца *B*).

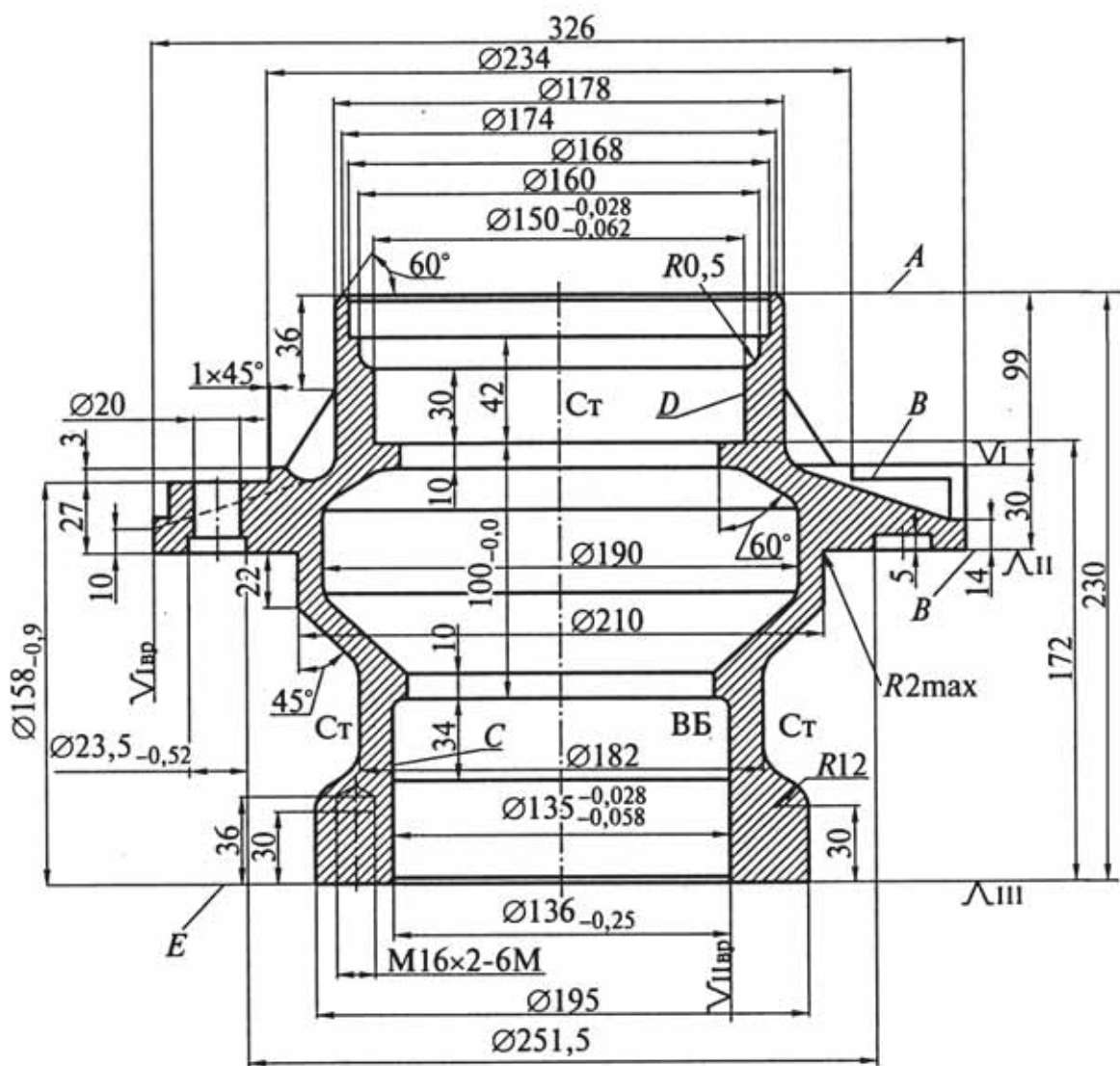


Рис. 19.1. Выбор баз механической обработки на чертеже детали: *A*, *B*, *C*, *D*, *E* – обрабатываемые поверхности; Ст – стержень; ВБ – встречный болван

Во-вторых, определяют поверхность, которую можно использовать в качестве черновой базы для назначения припуска на поверхность, обозначенную конструкторской базой. Выбор поверхности проводят из числа поверхностей, *координированных* с конструкторской базой размерными связями в порядке возрастания их номинальных размеров. На выбранную поверхность ставят знак базы V_I . В рассматриваемом на рис. 19.1 случае это противоположная поверхность фланца B .

В-третьих, принимают в качестве базы механической обработки конструкторскую базу (поверхность B), при этом следует также поставить знак V_{II} .

Наконец, проверяют, все ли поверхности можно обработать относительно найденных баз. Если имеется поверхность, которую нельзя обработать от найденных баз, то для нее определяют базу механической обработки из числа поверхностей, координированных с ней размерными связями в порядке возрастания их номинальных размеров, и ставят знак V_{III} (в нашем случае для внутренней поверхности, координированной размером 172 мм, выбираем в качестве третьей базы поверхность E , которая обозначается также знаком V_{III}).

Аналогично находят черновые базы V_I ВР и V_{II} ВР для поверхностей вращения (на рис. 19.1 поверхности D , C).

19.1.2. Определение допусков и припусков на механическую обработку

После выбора плоскости разъема и решения вопроса о формировании внутренних и внешних поверхностей необходимо выполнить определение допусков и припусков на механическую обработку по ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.). Ниже на примере детали ступицы заднего колеса автомобиля марки ЗИЛ-130 (рис. 19.2, a) приведен расчет допусков и припусков на обработку.

Исходные данные: материал – КЧ35-10, наибольший габаритный размер 326 мм, масса 22 кг, сложность отливки – средняя, термическая обработка – графитизирующий отжиг, способ литья – в сырые песчаноглинистые формы из смеси с влажностью 3,5...4,5 %, прочностью 0,06...0,12 Н/мм² и твердостью не ниже 70 ед. Уровень механизации – машинное поточно-механизированное производство, культура производства – средняя. Технический уровень технологии механической обработ-

ки – средний ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) прил. 7, табл. 15.

Назначение точностных параметров отливки и соответствующих им допусков и припусков следует проводить в следующем порядке.

1. По ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) (в стандарте прил. 1, табл. 9) для заданного технологического процесса, габаритного размера 326 мм и сплава КЧ35-10, подвергаемого термической обработке, находим интервал классов точности размеров КР 9–13. Согласно примечанию принимаем КР 11.

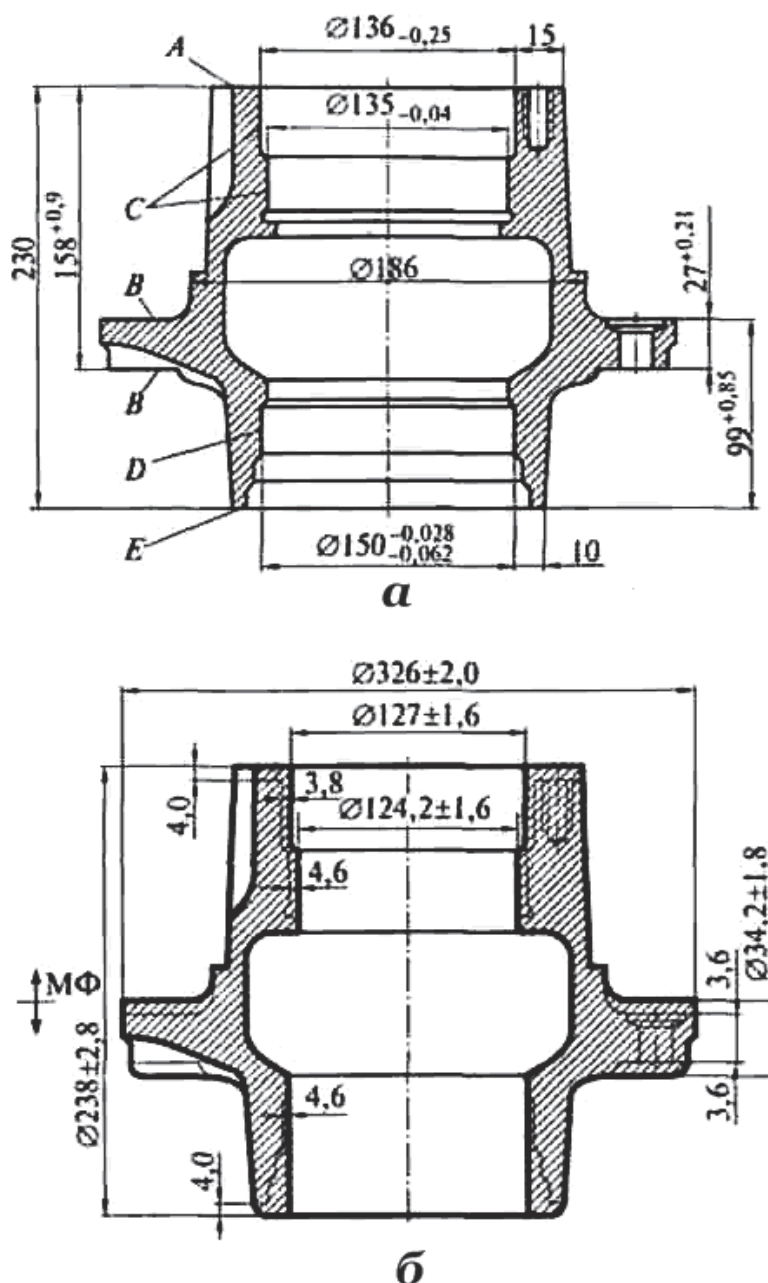


Рис. 19.2. Чертеж детали (а) и отливки (б) ступицы заднего колеса: МФ – разъем модели и формы; А, В, С, D, Е – обрабатываемые поверхности

2. По тому же ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) (в стандарте прил. 1, табл. 10) находим степень коробления элементов отливки: фланца (рис. 19.3) и основной цилиндрической части отливки (f – стрела прогиба).

При определении степени коробления фланца, точнее его свисающих концов, за высоту принимаем толщину $h = 27$ мм, за длину L – разность диаметров $L = D - D_1 = 326 - 186 = 140$ мм. Исходя из отношения $h/L = 0,19$ с учетом разовой формы и термической обработки отливки, интервал степени коробления составляет 5–8. В соответствии с примечанием к таблице стандарта принимаем СКэ 7.

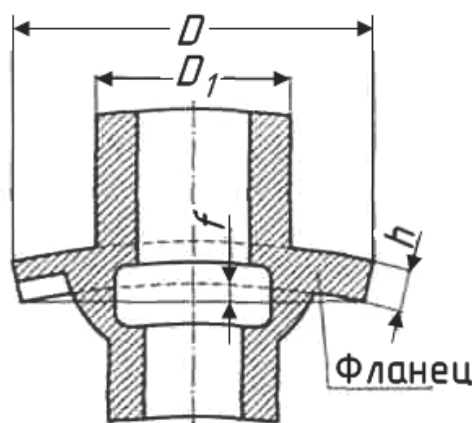


Рис. 19.3. Коробление фланца отливки:

D, D_1 – диаметры ступицы; h – толщина фланца; f – стрела прогиба

Следует заметить, что при определении наибольшей длины коробящего элемента для кронштейнов, фланцев и т.п. берут удвоенную длину концов, как, например, для ступицы фланца. При определении степени коробления внутреннего цилиндра (рис. 18.4) за высоту принимается диаметр $D = 166$ мм, за длину – $L = 230$ мм.

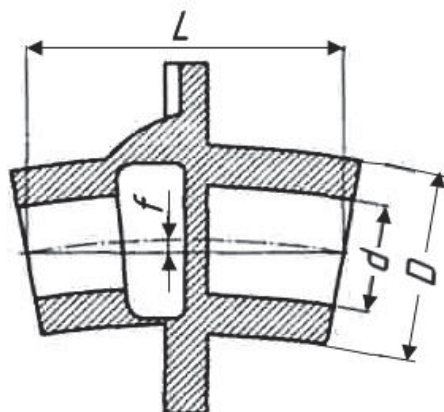


Рис. 19.4. Коробление цилиндра отливки:

f – стрела прогиба; L, D, d – высота, наружный и внутренний диаметры ступицы

Тогда по отношению $D/L = 0,72$ с учетом разовой формы и термической обработки отливки попадаем в интервал стандарта 4–7. В соответствии с примечанием принимаем СКэ 6.

Степень коробления отливки в целом принимается по наибольшему значению степени коробления элемента отливки, для нашего случая это СК 7.

3. По ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) (см. в стандарте прил. 1, табл. 11) для заданного технологического процесса, габаритного размера 326 мм и материала КЧ35-10 (предусмотрена термическая обработка) находим интервал степеней точности поверхности 13–19. С учетом примечания принимаем СП 15.

4. По тому же ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) (в стандарте прил. 1, табл. 13) для заданного технологического процесса, номинальной массы 22 кг и материала КЧ35-10 (предусмотрена термическая обработка) находим интервал классов точности массы, равный 8–15. С учетом примечания принимаем КМ 11.

5. Допуск смещения отливки определяем для наименьшей толщины стенки в плоскости разъема по классу точности размеров отливки, т.е. КР 11. В нашем случае $h = 14$ мм; по табл. 1 из ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) для КР 11 и $h = 14$ мм находим $T_{\text{СМ}} = 2,8$ мм.

Таким образом, найдены основные параметры точности отливки ступицы заднего колеса: класс точности размеров КР 11, степень коробления СК 7, степень точности поверхности СП 15, точность массы КМ 11 и допуск смещения $T_{\text{СМ}} = 2,8$ мм. В соответствии с ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) необходима соответствующая запись в ТУ отливки. Для нашего случая записываем: точность отливки: 11-7-15-11 См. 2,8 мм, ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.).

6. Для обрабатываемых поверхностей необходимо определить ряд припуска РП. По табл. 6 ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) находим для степени точности поверхности СП 15 интервал ряда припусков 6–9. С учетом примечания принимаем РП 8.

7. Определение припусков ведем для шести обрабатываемых поверхностей A, B, C, D, E , заполняя при этом последовательно табл. 19.1.

При определении припусков на обработку следует иметь в виду следующее. В соответствии с ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) точность размеров, пересекающих и выходящих на плоскость разъема, отражается в общей надписи на чертеже отливки. Этому виду размеров присвоено обозначение ВР2 (В – вид, Р – размер), что означает их принадлежность к размерам, образованным двумя частями формы.

Таблица 19.1

*Определение общих припусков на механическую обработку
поверхностей отливок*

Параметр	Значение параметра для обрабатываемой поверхности				
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Номинальный размер N_H от базы до обрабатываемой поверхности, мм	158	27	99	135	150
Вид размера ВР	2	2	2	1	1
Класс точности размеров КР	11	11	11	10	10
Допуск размера отливки T_o	5,0	3,6	4,4	3,2	3,2
Номинальный размер* ¹ нормируемого участка $N_{н.у}^o$ обрабатываемой поверхности	166	160	170	79	69
Номинальный размер нормируемого участка базовой $N_{н.у}^b$ поверхности* ¹	156	156	160	27	27
Степень коробления отливки СК	7	7	7	7	7
Допуск формы и расположения поверхностей отливки $T_{o.ф}$	0,8	0,64	0,8	0,5	0,5
Допуск формы и расположения базовой поверхности отливки $T_{ф. баз}$	0,64	0,64	0,64	0,5	0,5
Допуск смещения $T_{см}$	—	—	—	2,8	2,8
Номинальный размер N_D отверстия D	—	—	—	326	326
Вид размера ВР	—	—	—	1	1
Класс точности размеров КР	—	—	—	10	10
Допуск T_D номинального размера D	—	—	—	4,0	4,0
Допуск позиционный $T_{поз} = T_D/2$	—	—	—	2,0	2,0
Общий допуск $T_{o.общ}^{*2}$	5,0	4,0	5,0	6,4	6,4
Механическая обработка	a^{*3}	b^{*3}	a^{*3}	b^{*3}	b^{*3}
Общий допуск при назначении припуска	5,0	2,0	5,0	3,2	3,2
Общий припуск на обработку $Z_{общ}$ см. табл. 6 ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.)	3,8	2,2	3,8	2,9	2,9
	5,3	3,0	5,3	4,0	4,0
	6,0	3,4	6,0	4,5	4,5
	6,7	3,6	6,7	4,8	4,8
Вид механической обработки (см. ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.)	Черновая			Тонкая	

*¹ При определении припуска необходимо учесть тот факт, что коробится не только обрабатываемая, но и базовая поверхность, относительно которой происходит обработка. Номинальным размером нормируемого участка поверхности

$N_{н.у}^o$ является поверхность, на которой происходит коробление или которая обрабатывается. Номинальным размером нормируемого участка базовой поверхности $N_{н.у}^6$ является поверхность, на которой происходит базирование.

*² ГОСТ 26645 – 85 (изм. № 1, 1989 г.) табл. 6, пояснения в подразделе 16.6.3.

*³ Рис. 16.10.

Точность размеров, образованных одной частью формы или стержнем (обозначение ВР1), на один–два класса по ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г.) точнее размеров ВР2, а точность размеров, образованных тремя и более частями формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также точность толщин стенок на один–два класса «грубее» (т.е. меньше), чем точность размеров ВР2 (подробнее подразд. 16.2).

Поэтому при назначении припусков на механическую обработку важно знать, какими частями формы формируются внутренние и внешние поверхности отливки (формой, болваном, стержнем).

Общий припуск назначают по табл. 6 ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г) для устранения погрешностей размеров, формы и расположения, неровностей и дефектов обрабатываемой поверхности, формирующихся при изготовлении отливки и последовательных переходах ее обработки (подразд. 16.6.1).

Следует отметить, что величина общего допуска при нахождении припуска зависит от схемы механической обработки (рис. 16.10). Выбор вида механической обработки ведется по табл. ГОСТ 26645–85 (изм. № 1, 1989 г).

Допуски размеров детали берутся с ее чертежа.

После назначения припусков на обработку в соответствии с ГОСТ 3.1125–88 «Правила графического выполнения элементов литейной формы и отливок» с учетом чертежа детали разрабатывается чертеж отливки или на чертеж детали наносятся найденные значения припусков. Отверстия, которые «не проливаются» (т.е. не изготавливаются в процессе получения отливки), необходимо «заглушить» (показано на рис. 19.2, б).

Кроме припусков на механическую обработку, на чертеж детали наносят плоскость разъема, формовочные уклоны (сверх припусков), литейные радиусы и радиусы сопряжения толщин стенок.

Контуры отливки обводят жирными линиями, тогда как контуры детали показаны тонкими линиями (рис. 19. 2, б). На чертеже отливки (или чертеже детали с нанесенными размерами отливки) следует указывать измерительные базы (базы разметки) и базы первоначальной обработки поверхностей.

Допуски проставляются только на линейные размеры отливки, отличающиеся от обязательных общей надписью. Текст технических условий на отливку формируется с использованием технических условий чертежа детали. После нанесения припусков при необходимости проводится окончательная проверка проливаемости отверстий и формуемости болванов.

19.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Оформления чертежей технологии литейной формы проводится согласно ГОСТ 3.1125–88 «Правила графического выполнения элементов литейной формы и отливок». На чертеж детали наносится красным цветом плоскость разъема и припуски на обработку, синим – контуры стержней. На знаковых частях стержней указывают зазоры, а также охранные пояски, которые определяют по ГОСТ 3212–92.

Существуют упрощенная схема технологии литейной формы (без элементов литниковой системы и размещения отливок) и подробная схема технологии формы (чертеж литейной формы).

19.2.1. Рекомендации по выбору положения отливки в форме и плоскости разъема

Выбор положения отливки в форме и определение плоскости разъема являются важными и взаимоувязанными операциями. Как правило, после выбора положения отливки в форме рассматривают несколько альтернативных вариантов плоскости разъема и останавливаются на наиболее рациональном из всех.

Приведем основные рекомендации, которыми следует руководствоваться при выборе положения отливки в форме:

- отливку (на рис. 19.5, *а* для примера приведена отливка-гильза) в литейной форме следует располагать таким образом, чтобы ее габаритный наибольший размер ($L > D$) находился в плоскости разъема МФ. При этом важно соблюдать правило, согласно которому суммарная высота опок должна быть минимальной. Для выполнения этого правила и уменьшения суммарной высоты опок в некоторых случаях разъем делается ступенчатым (путем подрезки), как это сделано, например, при вертикальном без использования стержней изготовлении отливок гильзы цилиндров на АФЛ опочной формовки КамАЗ (рис. 19.5, *б*). При расположении гильзы цилиндров вертикально в форме необходимо провести оценку формуемости внутренней поверхности болваном (подразд. 19.2.2);

- отливки, требующие установки прибыли 1 (рис. 19.5, *в*), в форме

располагают так, чтобы массивные части или тепловые узлы находились в плоскости разъема или в верхней ее части;

- у отливок, не требующих установки прибыли, массивные части отливки следует располагать в нижней части формы для возможной установки холодильника 2 (рис. 19.5, *з*);

- отливку следует размещать в форме так, чтобы для выполнения полостей использовался один стержень 3 на две отливки (рис. 19.5, *д*);

- для устранения образования газовых раковин положение отливки в форме должно обеспечивать верхний отвод газов из стержней (через верхние знаковые части). Вариант положения отливки в форме на рис. 19.5, *е* является неправильным, так как выход газа из стержня затруднен и может происходить только вниз через знак (для исключения всплытия стержня необходимо использовать жеребейки 4). Поэтому правильнее выбрать положение отливки в форме, как показано на рис. 19.5, *ж*. При этом стержень 3 с обратным уклоном у знака можно заформовать в формовочную смесь в верхней полуформе, предварительно установив его в углубление в модели. В этом случае отпадает необходимость в использовании жеребеек.

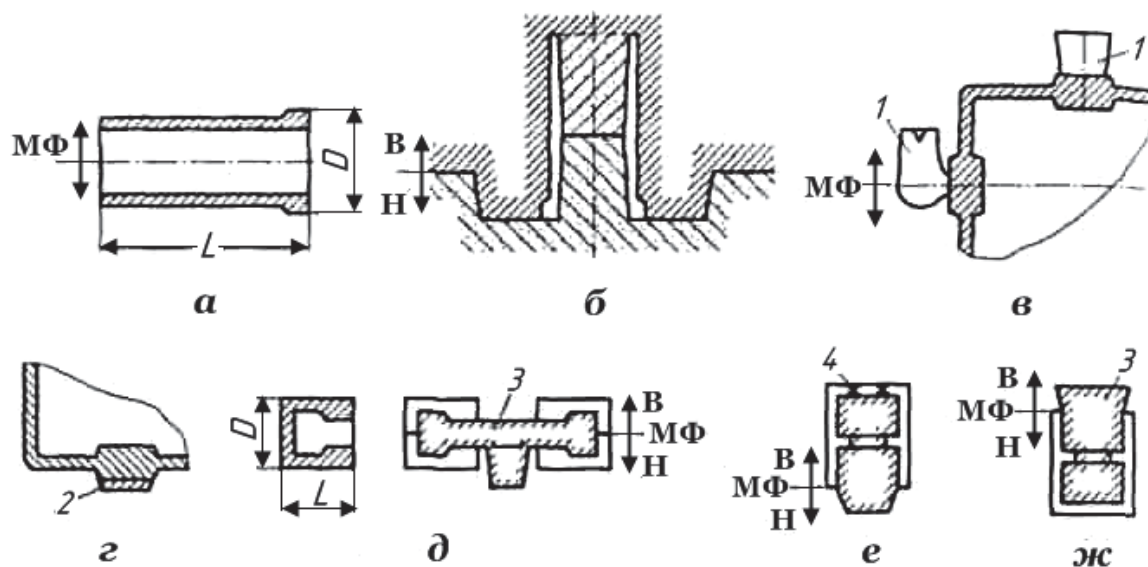


Рис. 19.5. Положения отливки в форме: а, б – горизонтальное и вертикальное расположение отливки-гильзы в форме; в, г – варианты расположения массивных узлов отливки в форме; д, е, ж – варианты расположения отливки в форме; 1 – прибыль; 2 – холодильник; 3 – стержень; 4 – жеребейка; МФ – разъем модели и формы в направлении верха (В) и низа (Н); L, D – длина и диаметр отливки

При выборе плоскости разъема необходимо руководствоваться определенными правилами:

- всю отливку по возможности располагать в одной полуформе (иногда за счет усложнения технологии) для повышения геометриче-

ской точности и точности размеров (рис. 19.6, а);

– при формировании полостей отливки вместо стержней 1 следует использовать болваны 2 (рис. 19.6, б);

– болваны следует располагать в нижней полуформе, так как при этом усилия отрыва болвана при съеме модели уменьшаются на величину его веса;

– разъем предпочтительней выполнять плоским (рис. 19.6, в. слева) или отдельные поверхности фигурного разъема должны быть плоскими (рис. 19.6, в, справа) для облегчения изготовления модельного комплекта;

– разъем должен обеспечивать удобство установки стержней 1 в нижней полуформе (на рис. 19.6, г вариант II предпочтительнее варианта I);

– база черновой механической обработки V и большинство обрабатываемых поверхностей (Ra – шероховатость) должны находиться в одной полуформе (на рис. 19.6, д, вариант I предпочтительнее варианта II);

– протяженность заливов по плоскости разъема должна быть наименьшей (рис. 19.6, е, вариант I), а их зачистка удобной.

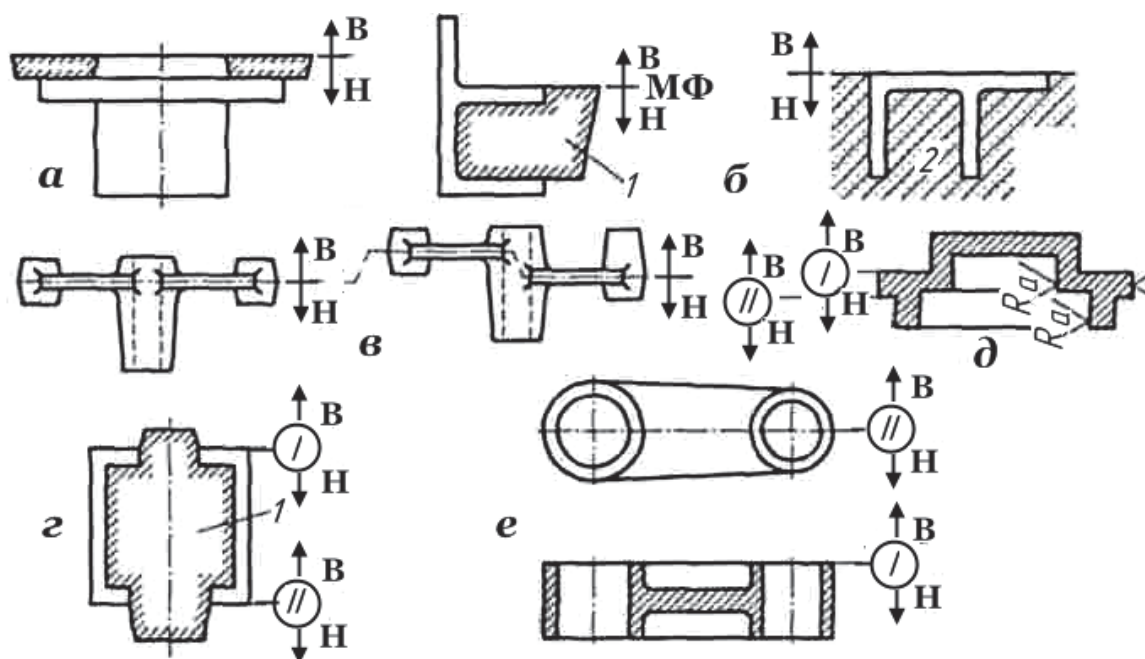


Рис. 19.6. Варианты (а – е) выбора плоскости разъема:
I II – варианты выбора; 1 – стержень; 2 – болван; В, Н – верх и низ формы

При выбранной плоскости разъема отливки модель должна свободно извлекаться из формы. Проверка может быть выполнена по отсутствию или наличию теневых участков при искусственном освещении отливки, направленном перпендикулярно плоскости разъема (рис. 19.7, а, б). В местах теневых участков (рис. 19.7, б) модель невозможно извлечь без подрыва формы, т.е. в этих местах необходимы стержни, отъемные части и т.п.

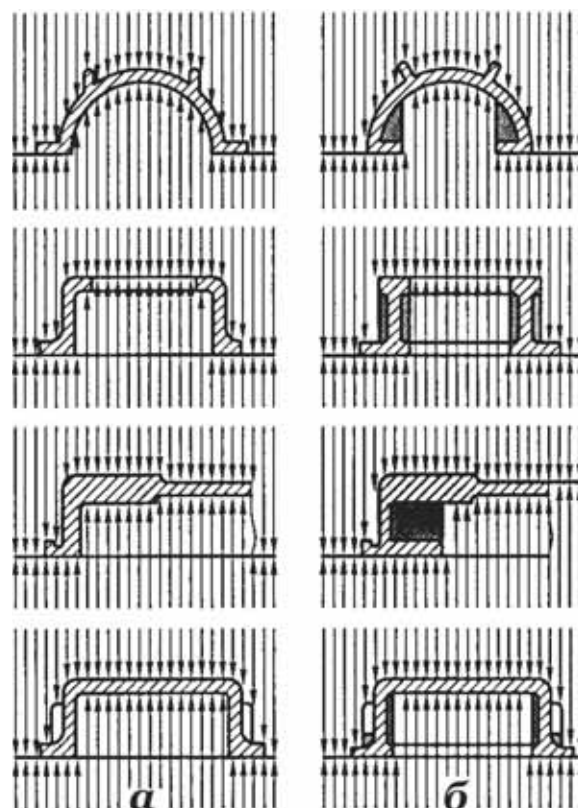


Рис. 19.7. Условие протяжки модели без подрыва (а) и с подрывом (б)

Для обозначения плоскости разъема на чертеже детали используют знак стрелок от основной линии разъема и буквы «МФ» (рис. 19.8), что означает «разъем модели и формы». В случае неразъемной модели ставят только букву «Ф».

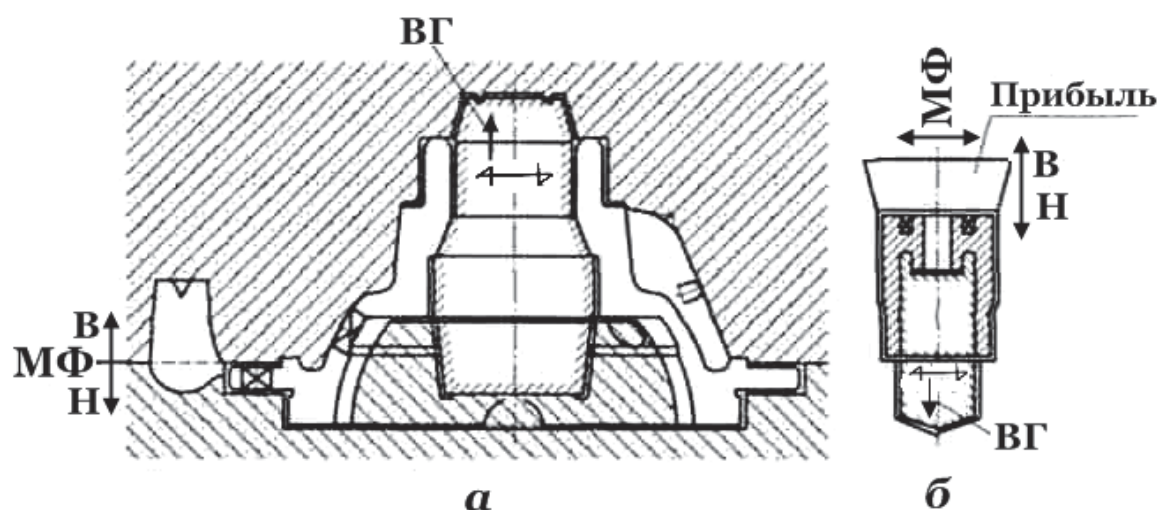


Рис. 19.8. Эскиз к описанию технологии литейной формы: а – положение отливки при формовке и заливке совпадают; б – положение отливки при формовке и заливке не совпадают; МФ, В, Н – соответственно разъем модели и формы в направлении верха и низа; ВГ – направление выхода газов

Направление разъема показывают сплошной основной линией, перпендикулярной плоскости разъема и ограниченной стрелками, около которых ставят буквы «В» (верх) и «Н» (низ) (рис. 19.8, а). Если отливка формуется в горизонтальном положении, а заливаются в вертикальном, то буквы «В» и «Н» у стрелок не ставят. При этом на чертеже проводят еще одну основную линию со стрелками, параллельную положению формы при заливке, и у этой линии ставят буквы «В» и «Н» (рис. 19.8, б). Для обозначения плоскости разъема стержней используют знак стрелок (отличающийся от стрелок для отливки), кроме того, указывают направление набивки смесей и выхода газов (ВГ) (рис. 19.8, а, б).

19.2.2. Формирование внешних и внутренних поверхностей отливок

После выбора положения отливки в форме и плоскости разъема необходимо, как уже отмечалось, определить, каким образом будут формироваться внешние и внутренние поверхности отливок (стержнем или формой). В большинстве случаев внешние поверхности выполняются формой и реже стержнями. Внутренние поверхности могут быть выполнены болванами, стержнями или совместно болванами и стержнями, предпочтительнее внутренние поверхности выполнять болванами. Для решения вопроса о возможности выполнения внутренней полости болваном следует использовать данные о формуемости болванов. Установлена экспериментальная зависимость между относительной высотой выпуклого элемента $H_{в.э}^0$ и относительной высотой буферной зоны $H_{б.з}^0$ (рис. 19.9).

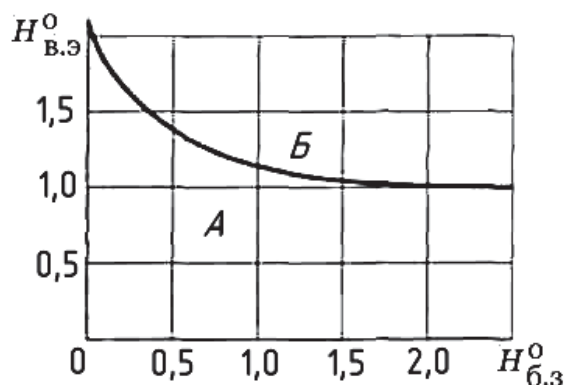


Рис. 19.9. Экспериментальная зависимость относительной высоты выпуклого элемента $H_{в.э}^0$ от относительной высоты буферной зоны $H_{б.з}^0$: А — зона формуемости болвана; Б — зона неформуемости болвана

При этом было принято, что качество отливки будет хорошим, если твердость болвана по твердомеру 04412А(071) составляет 70 ед. и более.

Кривая в названных координатах делит поле рис. 19.9 на области *A* и *B*. В области *A* твердость болвана выше или равна 70 ед. Уравнение регрессии для данной кривой имеет вид

$$H_{в.э}^0 = H_{в.э.расч}^0 = K(1,519 - 0,2389H_{б.з}^0 - 0,0642H_{б.з}^{0^2} + H_{б.з}^{0^3}). \quad (19.1)$$

В зависимости от вида производства и способа уплотнения величина коэффициента *K* колеблется в пределах 0,5... 1,75.

Схема на рис. 19.10 и приведенные ниже уравнения поясняют, как пользоваться зависимостью на рис. 19.9 или уравнением (19.1).

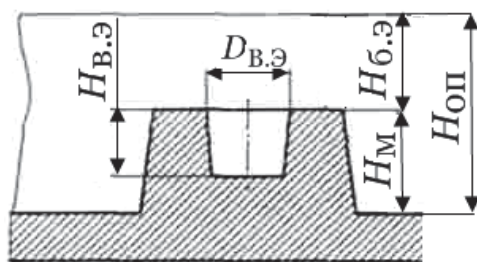


Рис. 19.10. Модель с нанесенными параметрами для оценки формоустойчивости полости болваном: $D_{в.э}$, $H_{в.э}$ – диаметр и высота выпуклого элемента; $H_{б.з}$ – высота буферной зоны; $H_{м}$ – высота модели; $H_{оп}$ – высота опоки

Относительная высота $H_{в.э}^0$ выпуклого элемента вычисляется из соотношения

$$H_{в.э}^0 = H_{в.э} / D_{тр}, \quad (19.2)$$

где $H_{в.э}$ – высота выпуклого элемента; $D_{тр}$ – диаметр трения смеси о модельную оснастку, определяемый из уравнения:

$$D_{тр} = 4F/P, \quad (19.3)$$

где F – площадь выпуклого элемента с периметром P .

Для выпуклого цилиндрического элемента $D_{тр} = D_{в.э}$, для прямоугольника площадью $F = a \times b$ (где b – размер прямоугольника в плоскости, перпендикулярной чертежу) $P = 2(a + b)$, а $D_{тр} = 2ab/(a + b)$.

Аналогично определяется относительная высота буферной зоны

$$H_{б.з}^0 = H_{б.э} / D_{тр}, \quad (19.4)$$

где $H_{б.э}$ – высота буферной зоны (рис. 19.10).

Диаметр трения $D_{тр}$ буферной зоны принимается равным диаметру трения выпуклого элемента (болвана). Для конкретного болвана определяют $H_{в.э}^0$ и сравнивают с вычисленным по уравнению (19.1) значением $H_{в.э.расч}^0$. Если $H_{в.э}^0 = H_{в.э.расч}^0$, то болван формуется, если $H_{в.э}^0 > H_{в.э.расч}^0$, то болван не формуется, так как его твердость меньше 70 ед.

В некоторых случаях возможны разбивка болвана по высоте, например пополам, и повторная оценка формуемости теперь уже для двух встречных болванов меньшей высоты.

Решение о том, как выполняются внутренние поверхности, можно считать принятым в первом приближении, так как после определения припусков на механическую обработку в размерах отливки появятся изменения.

Например, обрабатываемое отверстие, которое до назначения припуска «проливалось», после корректировки может стать «непроливаемым». Окончательное решение о формуемости болванов, а также проливаемости отверстий и определении размеров знаковых частей стержней принимается после нанесения на чертеж припусков на механическую обработку.

19.3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗНАКОВ СТЕРЖНЕЙ

19.3.1. Конструирование знаков стержней для опочной формовки

Конструирование знаков стержней проводят в соответствии с ГОСТ 3212–92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные. Стержневые знаки. Допуски размеров».

Знаки стержня непосредственно не участвуют в формообразовании отливки, однако они играют существенную роль в получении отливок с высокой геометрической точностью и точностью размеров. С помощью знаков стержень устанавливают в литейную форму и фиксируют в заданном положении. С точки зрения организации труда принципиально нет никакого различия между сборкой двигателя на конвейере и сборкой сложной литейной формы. Речь может идти лишь о точности сборки, но в обоих случаях при разработке технологии сборки используют систему допусков и теорию размерных цепей.

Важным моментом при этом является установление зазоров, натягов (если необходимо) между знаками стержней и литейной формы.

В машиностроении при холодной обработке металлов взаимозаменяемость достигается «системой отверстия» или «системой вала». При установлении зазоров между знаками стержней и формой пользуются «системой вала», которая обеспечивает при сборке формы точность внутренних размеров отливки и, следовательно, наиболее близкое приближение к ее теоретической массе. Зазоры выполняются за счет увеличения размеров знаковых частей модели (формы).

Согласно ГОСТ 3212 – 92 знаки подразделяются на горизонтальные и вертикальные в зависимости от положения стержня в форме. Длину l горизонтальных знаков (рис. 19.11, а) для сырой формовки определяют по табл. 19.2.

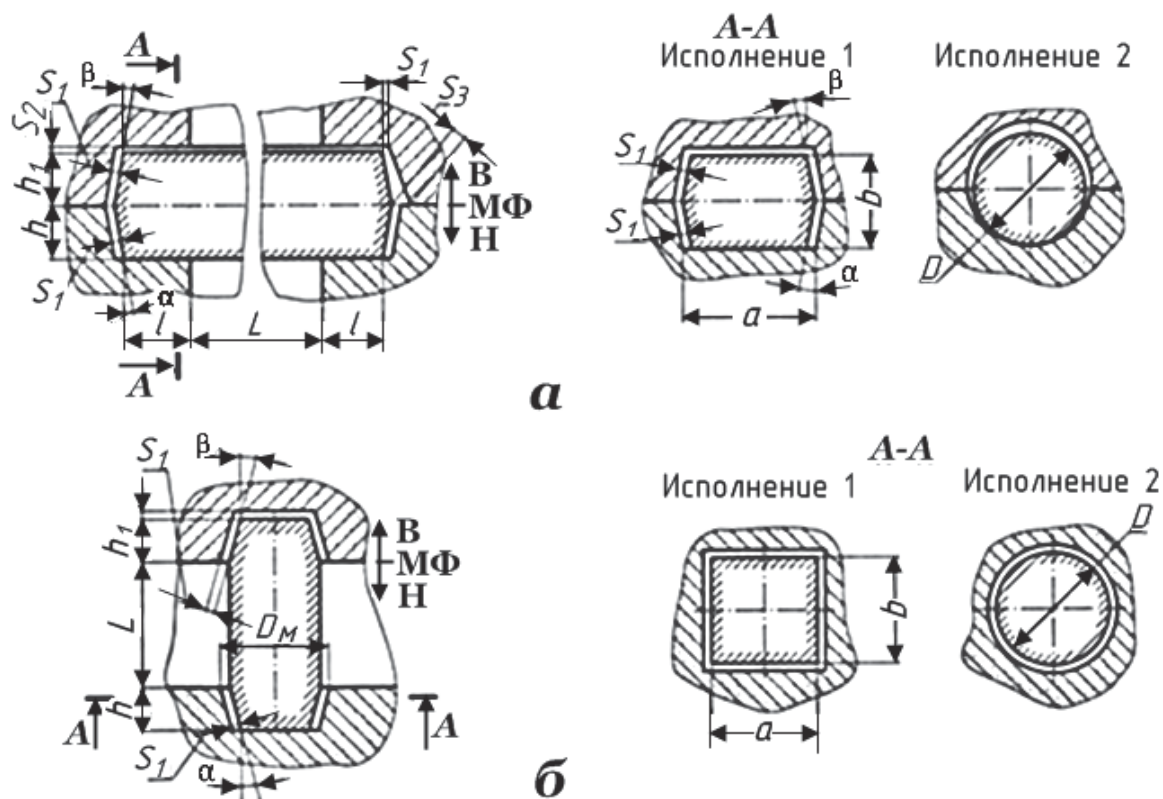


Рис. 19.11. Параметры знаков стержней: а – горизонтального; б – вертикального; исполнение 1 – прямоугольное сечение $(a + b)/2$; исполнение 2 – круглое сечение диаметром D ; S_1, S_2, S_3 – зазоры между формой и знаком стержня; β, α – уклон для верхнего и нижнего знака стержня; L, l – длина рабочей части и знаков стержня соответственно; D, a, b – размеры сечения стержня

Высоту нижнего вертикального знака h (рис. 19.11, б) для сырой формовки определяют по табл. 19.3. Высота верхнего вертикального знака h_1 принимается равной $0,5h$.

При определении технологических зазоров S_1, S_2, S_3 между знаками формы и стержня следует учитывать класс модельного комплекта (гл. 3). Например, для модельного комплекта МК5 для отливок с точностью размеров КР9–КР10 технологические зазоры определяют по данным табл. 19.4. Для модельных комплектов и отливок другой точности зазоры можно определить в соответствии с ГОСТ 3212–92 (в данном стандарте табл. 9, 11 и 12).

Примеры применяемых фиксаторов для знаков, предупреждающих их смещение, представлены на рис. 19.12.

Таблица 19.2

Определение параметров горизонтальных знаков стержней

$(a+b)/2$ или D , мм	Длина знака l , мм, не более, при длине стержня L , мм							
	до 40	свыше 40 до 63	свыше 63 до 100	свыше 100 до 160	свыше 160 до 250	свыше 250 до 400	свыше 400 до 630	свыше 630 до 1000
До 25	20	25	30	35	—	—	—	—
Свыше 25 до 40					45	50		
Свыше 40 до 63				40	50	60	75	95
Свыше 63 до 100			35	40	35	45	55	65
Свыше 100 до 160	50	60				75	95	115
Свыше 160 до 250		40				65	80	100
Свыше 250 до 400	40	40	45	60	75	85	100	140
Свыше 400 до 630				65	85	100	130	160
Свыше 630 до 1000	—	—	—	—	—	115	150	180

Таблица 19.3.

Определение параметров вертикальных знаков стержней

$(a+b)/2$ или D мм	Высота знака h , мм, не более, при высоте стержня L , мм							
	до 40	свыше 40 до 63	свыше 63 до 100	свыше 100 до 160	свыше 160 до 250	свыше 250 до 400	свыше 400 до 630	свыше 630 до 1000
До 25	20	30	30	30	—	—	—	—
Свыше 25 до 40	20	30	30	30	50	60	—	—

Окончание таблицы 19.3

$(a+b)/2$ или D мм	Высота знака h , мм, не более, при высоте стержня L , мм								
	до 40	свыше 40 до 63	свыше 63 до 100	свыше 100 до 160	свыше 160 до 250	свыше 250 до 400	свыше 400 до 630	свыше 630 до 1000	
Свыше 40 до 63	25	35	35	35	40	60	80	110	
Свыше 63 до 100						50			
Свыше 100 до 160	30						70	100	
Свыше 160 до 250									40
Свыше 250 до 400							40	50	
Свыше 400 до 630	40					40			40
Свыше 630 до 1000	50	50	50	50	50	50	70		

С целью предотвращения попадания жидкого металла в зазор и закрытия вентиляционного канала 5 предусматриваются обжимное кольцо 1 в верхнем знаке вертикального стержня (рис. 19.13, а) и обжимное полукольцо 3 на горизонтальном знаке стержня (рис. 19.13, б, табл. 19.5). Значение зазора S_3 следует принимать равным $1,5S_1$. Для исключения выдавливания смеси внутрь полости формы при установке стержня на горизонтальном знаке стержня предусматривается противообжимной пояс.

Таблица 19.4.

Определение технологических зазоров между знаками формы и стержня

Высота знака H , мм	Зазоры S_1 (S_2), мм, не более, при высоте стержня L , мм							
	до 40	свыше 40 до 63	свыше 63 до 100	свыше 100 до 160	свыше 160 до 250	свыше 250 до 400	свыше 400 до 630	свыше 630 до 1000
До 25	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	1,1

Окончание таблицы 19.4

Высота знака H , мм	Зазоры S_1 (S_2), мм, не более, при высоте стержня L , мм							
	до 40	свыше 40 до 63	свыше 63 до 100	свыше 100 до 160	свыше 160 до 250	свыше 250 до 400	свыше 400 до 630	свыше 630 до 1000
Свыше 25 до 40	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	1,3
Свыше 40 до 63	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	1,3
Свыше 63 до 100	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,3
Свыше 100 до 160	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	1,0	1,3
Свыше 160 до 250	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,4
Свыше 250 до 400	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,4
Свыше 400 до 630	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4
Свыше 630 до 1000	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5
(S_2)	(0,5)	(0,6)	(0,7)	(0,8)	(0,9)	(1,0)	(1,3)	(1,7)

Таблица 19.5.

Параметры охранных устройств в знаках стержней и формы

Диаметр знака $D_{\text{М}}$ мм	Конструктивные размеры, мм							
	Горизонтальный знак					Вертикальный знак		
	a	b	c	r	d	e	f	r_1
Свыше 40 до 63	5	0,5	—					
Свыше 63 до 100		1,0	15	2	10	2	3	2
Свыше 100 до 250	8	1,5	20	3	15	3	4	3
Свыше 250 до 400	10		25	5		4	5	5
Свыше 400	12		2,0		40	20	5	6

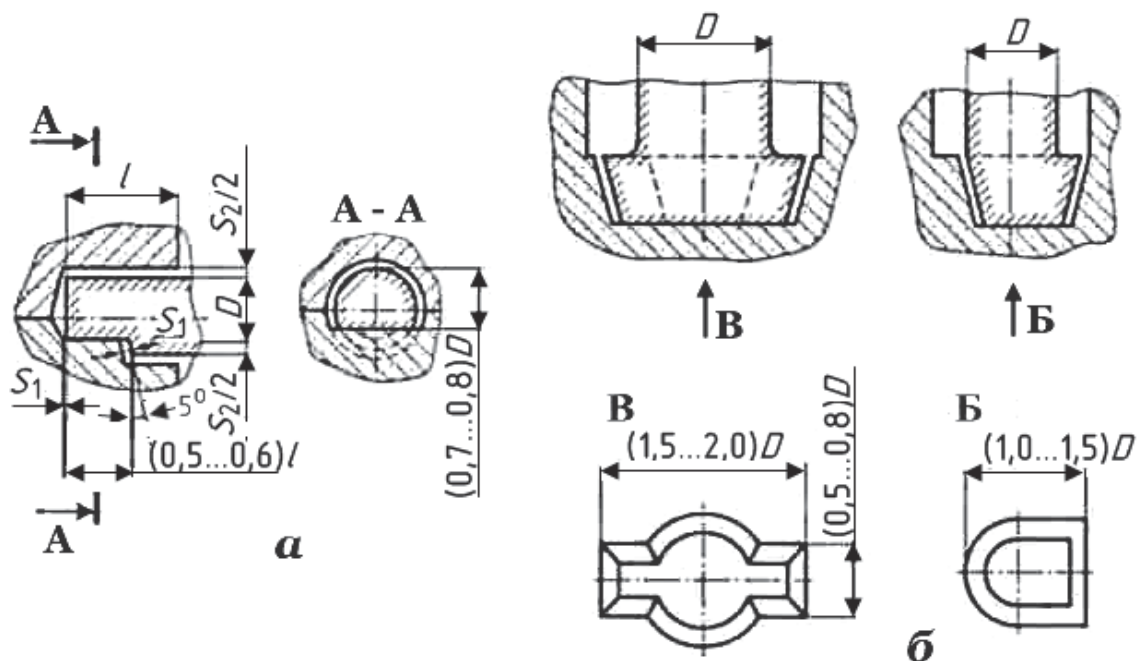


Рис. 19.12. Типы фиксаторов стержней для горизонтального (а) и вертикального (б) знаков: S_1 S_2 – зазоры между формой и знаком стержня; l – длина знака стержня; D – диаметр стержня

При установке стержня с вертикальным знаком в форму возможны задиры смеси, что может привести к ее скоплению в форме и к неточностям установки самого стержня. С этой целью в знаках предусматриваются канавки 2 (рис. 19.13, а). Параметры конструктивных элементов (охранных устройств) определяют по табл. 19.5.

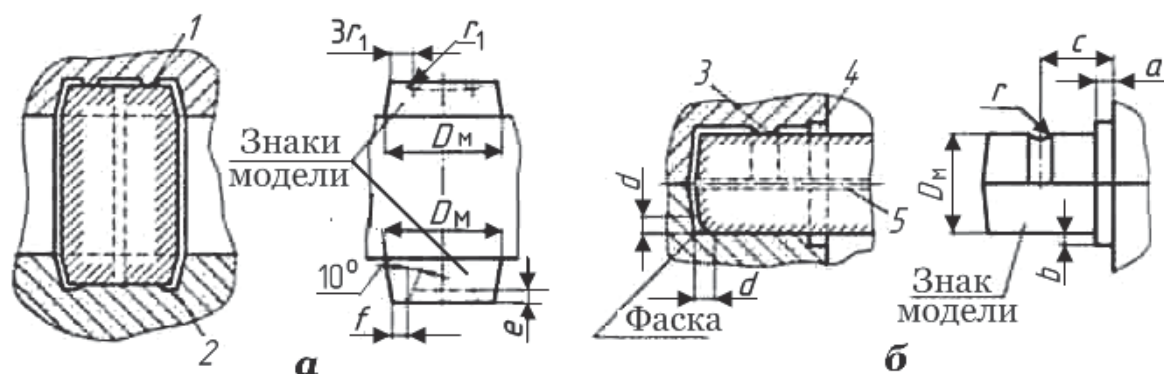


Рис. 19.13. Охранные устройства на знаках стержней: а – вертикального; б – горизонтального; слева – изображение формы, справа – модель; 1 – обжимное кольцо; 2 – канавка; 3 – обжимное полукольцо; 4 – противообжимной пояс; 5 – вентиляционный канал; r_1 , f , e , d , a , b , c – параметры охранных устройств; D_m – диаметр модели

При конструировании стержней дополнительно предусматривается разработка газоотводных каналов (гл. 8). Все изложенное о конструировании справедливо только для простых стержней, сложные стержни, т. е. стержни, которые трудно изготовить в стержневом ящике, предварительно мысленно разбивают на простые стержни (выбор границ стержней в подразд. 2.7). Пример выбора границ стержней сложного стержня показан на рис. 2.16.

19.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАБАРИТОВ ОПОК

В задачу конструирования литейной формы входит определение габаритов опоки. Габариты опоки определяются габаритами формуемой детали, числом деталей в одной опоке, расположением и размерами прибылей и литниковой системы, размерами стержневых знаков. Однако существуют еще другие факторы, ограничивающие габариты опоки. К ним относятся грузоподъемность кранов, габариты стола и подъемная сила формовочных встряхивающих машин, наличный парк опоки.

Окончательно габариты опоки уточняются после установления положения детали при формовке, плоскости разъема формы, размеров знаков, конструкции и размеров литников и т. п. Выбор опоки должен удовлетворять следующему условию: толщина слоя формовочной смеси вокруг отливки должна быть такой, чтобы при заливке от статического и динамического давления металла не только не произошло разрушения, но и деформации формы.

Минимальные внутренние размеры опоки получаются, если к габаритным размерам модели с литниковой системой прибавить некоторые расстояния a , b , c , d , указанные на рис. 19.14 и в табл. 19.6.

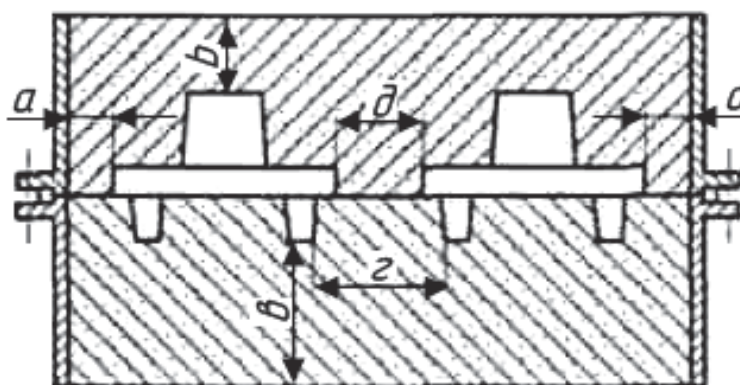


Рис. 19.14. Размещение отливок в форме для опочной формы

Таблица 19.6

Наименьшие расстояния между моделями, моделями и стенками опок

Отливки	Граничные размеры, мм, в соответствии с рис. 19.17				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Мелкие (до 10 кг)	20...30	35...60	50...75	0,3 высоты модели в полуформе	0,5 высоты модели в полуформе
Средние (10...50 кг)	50...75	75...100	11...125		
Крупные (более 50 кг)	125...175	150...200	175...200	—	—

Полученный указанным путем размер опоки округляется до ближайших размеров, указанных в заводской нормали.

19.5. ПРИМЕРЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Пример 1. На рис. 19.15 приведены схемы вариантов технологии отливки из серого чугуна СЧ25 гильзы цилиндров с внутренним диаметром 100 мм и высотой 200 мм автомобиля КамАЗ. При разработке технологии учтены два возможных варианта расположения отливки в форме: горизонтальное и вертикальное.

При горизонтальном расположении внутренняя поверхность формируется только стержнем (рис. 19.15, *a*). При этом обеспечивается минимальная высота опок (подразд. 19.1.2). Используемый в данном случае объемный стержень приводит к повышенному браку отливок по газовым раковинам, поскольку газовый поток может выходить не только через знаки стержня, но и через стенку отливки.

При вертикальном расположении отливки в форме (рис. 19.15, *б*) внутренняя поверхность гильзы формируется встречными болванами. Газовый поток выходит вверх, что значительно уменьшает вероятность образования газовых раковин. Отсутствие стержней существенно снижает трудовые затраты на изготовление отливок. Однако использование встречных болванов сопряжено с вероятностью их смещения и, соответственно, с увеличением припуска на обработку. Кроме того, припуск получается неравномерным из-за литейного уклона, составляющего $1^{\circ} 30'$.

На рис. 19.15, *в* внутренняя поверхность гильзы формируется одним болваном. К положительным результатам варианта, показанного на рис. 19.15, *б*, добавляется то, что внешняя базовая поверхность располагается в одной полуформе с внутренней поверхностью. Припуск не-

сколько уменьшается, поскольку отсутствует смещение, кроме того, уменьшается литейный уклон до $0^\circ 45'$. Однако припуск на внутренней поверхности остается неравномерным. Данный вариант является оптимальным. Отметим также, что в вариантах на рис. 19.5, б, в для сохранения высоты опок используется подрезка

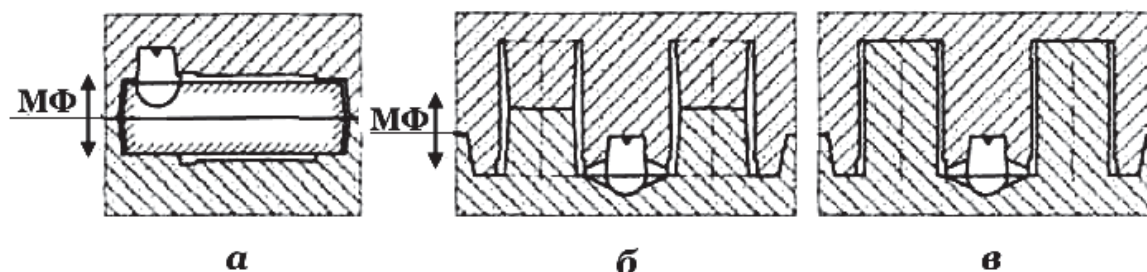


Рис. 19.15. Разработка технологического процесса изготовления отливки гильзы цилиндров: а – гильза расположена горизонтально, внутренняя поверхность формируется стержнем; б – гильза расположена вертикально, внутренняя поверхность формируется встречными болванами; в – гильза расположена вертикально, внутренняя поверхность формируется болваном; МФ – разъем модели и формы

Припуски на механическую обработку отливок, изготовленных по вариантам рис. 19.15, а–в, приведены в табл. 19.7.

Таблица 19.7

Сравнительный анализ по припускам для разных вариантов технологии

Припуск на внутреннюю поверхность	Величины припусков для разных вариантов, мм		
	а	б	в
Общий $Z_{\text{общ}}$	1,9	1,5	1,5
Максимальный с учетом уклонов $Z_{\text{общ max}}$	3,7	2,9	1,5

Пример 2. На рис. 19.16, а представлен чертеж чугунного подшипника тепловоза. При разработке технологического процесса можно принять как горизонтальное (рис. 19.16, б), так и вертикальное (рис. 19.16, в) положение отливки в форме. При горизонтальном положении отливки несколько более удобными оказываются процессы формовки и сборки формы, а при вертикальном положении отливки в форме будут более чистыми внутренние обрабатываемые поверхности, число стержней при этом не изменяется.

Имея в виду небольшую высоту отливки, для обеспечения более вы-

сокого ее качества принимают вертикальное положение этой отливки при заливке. При этом применяют дождевую систему, для чего изготавливают специальный стержень, а на модели – отъемную часть, выполняющую гнездо для его установки (рис. 19.16, з).

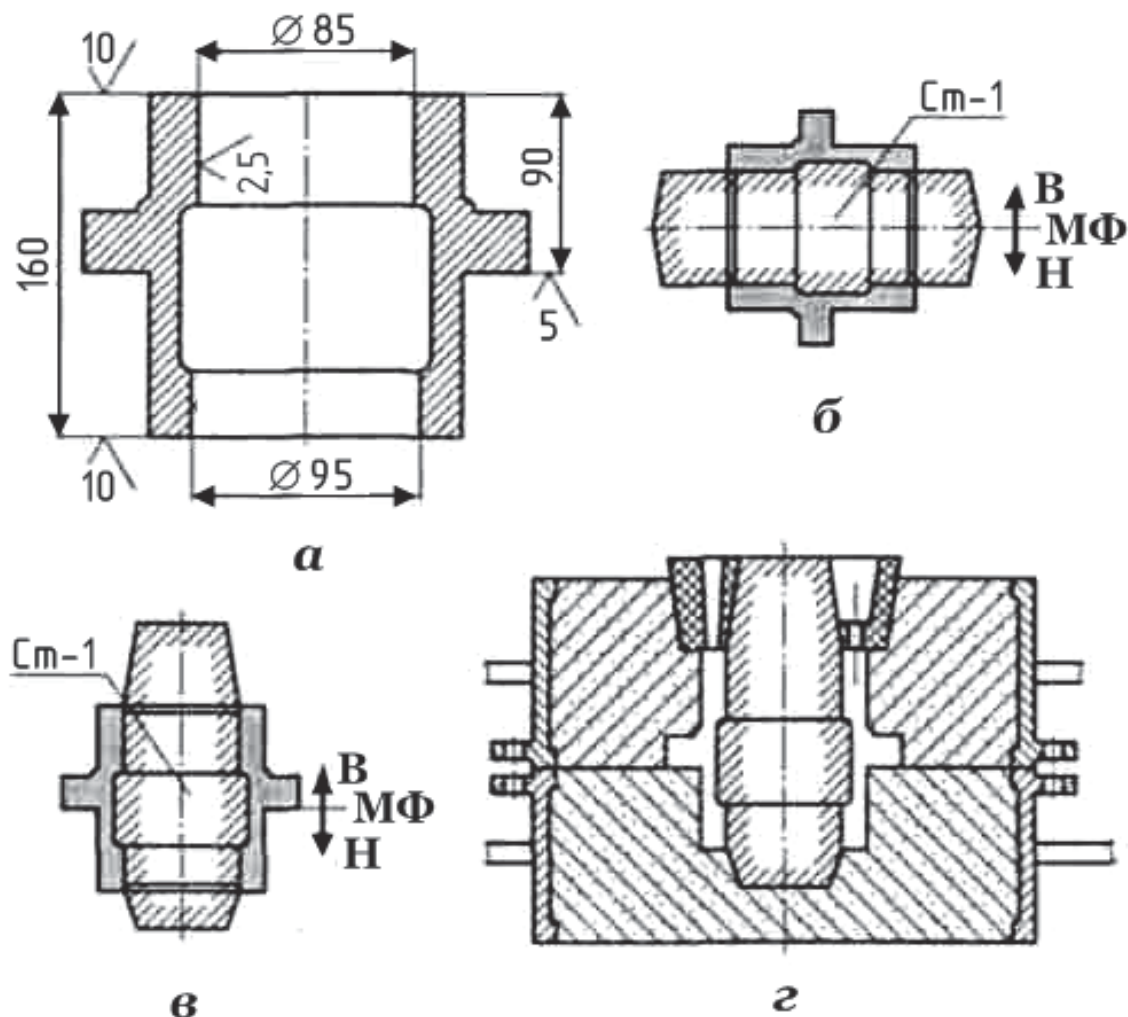


Рис. 19.16. Разработка технологического процесса изготовления отливки корпуса подшипника: а – чертеж детали; б, в – варианты технологии; г – собранная форма; Ст-1 – стержень; МФ – разъем модели и формы; В, Н – верх и низ

19.6. ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК

В условиях современного промышленного производства необходимы высокая производительность, постоянное расширение и обновление ассортимента выпускаемых изделий при одновременном сокращении сроков освоения их технологий.

Эти проблемы актуальны для любого типа производства, в том числе для массового, для которого их решение оказывается более простым, чем для серийного, мелкосерийного и единичного производства. Предприятия в этих производствах обычно обладают большей гибкостью за счет оснащения универсальным технологическим оборудованием, сравнительно просто переключаемым на изготовление изделий другого наименования, но существенно менее производительным и предусматривающим, как правило, значительные затраты ручного труда при его обслуживании. Данная сфера производства наиболее сложно поддается автоматизации. Тем не менее, именно здесь сосредоточено до 80 % общего объема выпуска продукции машиностроения. Кроме того, этим предприятиям практически постоянно приходится решать задачу освоения и выпуска новых, ранее не производившихся или видоизмененных изделий.

Сильным тормозом повышения эффективности автоматизированного машиностроительного комплекса массового и крупносерийного производства являются также длительные сроки проектирования и особенно подготовки производства новой техники, что часто приводит к моральному старению еще не начатых эксплуатироваться изделий.

В идеале решать эти проблемы призвано гибкое автоматизированное производство, которое должно обладать способностью изготавливать относительно небольшие партии изделий при высоких экономических показателях, т.е. объединять в себе достоинства многономенклатурного мелкосерийного (большая гибкость) и массового (высокая производительность) видов производства. В действительности значения отдельных технико-экономических показателей таких новых систем являются компромиссными по сравнению с максимально возможными.

Так, например, многономенклатурные автоматизированные производства менее экономичны, занимают больше площади и т.д., чем малономенклатурные автоматические. Вместе с тем автоматизация предъявляет более жесткие ограничения, чем механизация, к разнообразию характеристик номенклатуры выпускаемых изделий и т.д.

В современных условиях в данном традиционном подходе при создании гибкого автоматизированного производства (ГАП) разрабатываются системы автоматического управления технологическими процессами (АСУ ТП), системы автоматического проектирования (САПР), включающие системы автоматической подготовки производства (АСУ ПП) и более сложные интегрированные системы на их основе.

Традиционное противоречие между возможностью автоматизации и серийностью в мелкосерийном производстве может быть разрешено посредством использования приемов искусственного увеличения серийности изготовления деталей. Эти приемы в условиях многономен-

клатурного мелкосерийного производства основаны на унификации объектов, способов и средств производства.

Поэтому при разработке технологического процесса гибкого автоматизированного производства отливок, помимо соблюдения принципов, относящихся к общим правилам построения технологии получения отливок, особое внимание уделяется проблемам, от которых зависит рентабельность мелкосерийного автоматического производства.

Одним из основных условий решения этих проблем является разработка групповых технологических процессов изготовления отливок. По ГОСТ 3.1109–82, групповой технологический процесс – это изготовление группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Использование групповой технологии дает возможность при мелкосерийном производстве увеличивать объем партии отливок в технологическом потоке и тем самым сокращать число переналадок оборудования при их выпуске. В некоторых отраслях машиностроения при внедрении групповой технологии объем переналадок оборудования сокращается на 60... 70 %. Важно и то, что групповые технологии позволяют организовать мощные однородные технологические потоки в мелкосерийном производстве. Это облегчает создание для них высокопроизводительных автоматических комплексов, линий с рациональной гибкостью и, следовательно, приемлемой экономической эффективностью.

Основа групповой технологии – объединение в семейства отливок, обладающих определенной общностью конструктивных признаков, технических требований, объемов производства и др. Для таких семейств оказываются приемлемыми единая последовательность операций, одни и те же модели оборудования без переналадки или с их минимумом, а также иные технологические решения и подходы к конструированию оснастки.

Объединение отливок в семейства выполняют путем разработки классификаций по наиболее существенным для решения поставленной задачи признакам. Обычно системы классификации, используемые для рассматриваемой цели, содержат две группы признаков, а именно:

- конструктивные признаки – габаритные размеры, геометрические характеристики формы, материал отливок и т.п.;
- производственно-технологические признаки – серийность, технические условия на отливки, принципиальные технологические решения.

Для получения правильных результатов необходимо учитывать обе группы признаков.

По степени конструктивного производственно-технологического подобия отливки обычно разделяют на классы – общий характер конфигурации (рис. 19.17, *а*), группы – сходные отливки, различающиеся отдельными элементами (рис. 19.17, *б*) и

типы – конструктивно подобные отливки, различающиеся только размерами (рис. 19.17), (таб. 19.8).

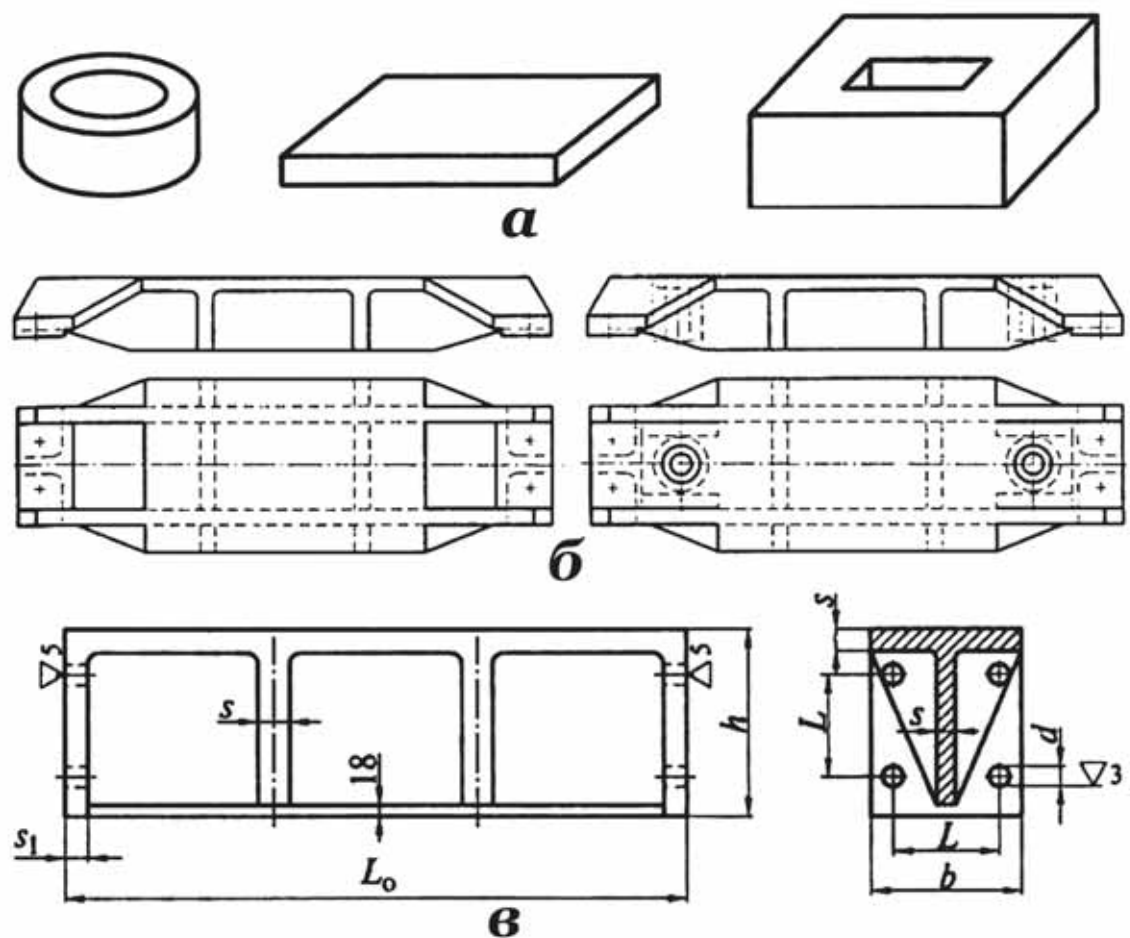


Рис. 19.17. Степень конструктивного подобия отливок

Таблица 19.8

Размеры конструктивно подобных отливок

Размеры, мм							Масса траверсы, кг
L_{oi}	h	b	d	L	s	s_1	
686...2186	200	180	26	110	25	30	60...166
719...2619	250	200	26	125	30	35	77...265
1032...3242	300	240	32	160	35	40	172...507

По общему характеру конфигурации отливки объединяют в класс. Исходя из главного общего их признака – конфигурации – отливка может быть отнесена к следующему классу: круглая, коробчатая, параллелепипед, плита и т.д.

В группу входят отливки, различающиеся только отдельными

конструктивными элементами. Совокупность отливок с почти полным конструктивным подобием выделяется в тип. На понятие «тип отливок» не влияют отдельные вспомогательные элементы конструкции, не отражающиеся на литейной технологии, например ребра, отверстия, для создания которых не требуются дополнительные технологические элементы-стержни, новые разъемы модели и формы и т. д.

Для отнесения отливки к типу или группе имеет значение и объем выпуска. Одна и та же отливка при частой повторяемости производства может быть отнесена к типу, а при редкой – к группе.

Рассматриваемая классификация дает возможность создавать ограниченное число технологических разработок для типов или групп отливок. Однако следует подчеркнуть, что в такой многооперационной технологии, как изготовление отливок в разовой разъемной форме, могут быть свои групповые процессы на каждом этапе производства: при изготовлении литейных форм, стержней, при очистке, термической обработке отливок и др. При разработке групповой технологии на отдельных этапах может потребоваться не только группирование других изделий (например, стержней), но и не всегда совпадающие классификации отливок.

При проектировании групповой технологии литейного производства целесообразно учитывать типизацию трех категорий технологических элементов.

Технологические элементы первой категории (модели, стержневые ящики, шаблоны) непосредственно участвуют в формообразовании отливок.

Технологические элементы второй категории прямо не влияют на формообразование, они определяются с помощью расчетов (литниковые системы, прибыли, опоки, холодильники).

Технологические элементы третьей категории – это материальное обеспечение (металлы, сплавы для отливок, формовочные и стержневые смеси) и операции уплотнения и упрочнения форм и стержней, а также режимы заливки форм.

Элементы первой категории, определяющие форму и размеры отливок, поддаются типизации труднее, чем элементы второй и, тем более, третьей категории. Технологические элементы второй категории можно свести к некоторым типам и типоразмерам и в соответствии с их особенностями распространить на различные отливки. Это дает возможность пользоваться ограниченным набором этих элементов. Легче всего типизируются наиболее универсальные и широко применяемые в производстве самых разнообразных отливок технологические элементы третьей категории. Использование групповой технологии позволяет организовать автоматизированное изготовление мелкосерийных отливок, относящихся к одной группе или типу. Для каждого потока устанавли-

вают тип технологического оборудования, оптимальные составы формовочных и стержневых смесей, вспомогательное оборудование и т.д.

При необходимости изготовления новых отливок каждую из них включают в тот технологический поток, который обеспечивает получение заданного качества этих отливок при наиболее высокой эффективности производства.

Наибольшую перспективу для развития системы автоматического проектирования (САПР) технологии отливок и подготовки производства имеет разработка типовых технологических процессов.

Типовой технологический процесс характеризуется единством основных технологических элементов, кроме их размеров, которые большей частью неодинаковы. Использование проверенных типовых процессов позволяет также обеспечивать качество получаемых отливок вне зависимости от квалификации конкретных технологов-разработчиков.

На рис. 19.18 *а, б* приведен чертеж распространенной конструкции детали типа «колесо» (шкивы, колеса, маховики, шестерни и др.), состоящей из обода и ступицы, соединенных спицами (рис. 19.18, *а*) или диском (рис. 19.18, *б*).

На рис. 19.18, *в–н* рассмотрены основные варианты типовых технологических процессов и их определяющие факторы для данных отливок из серого чугуна (рис. 19.18, *в, г, е*) и стали (рис. 19.18, *д, ж–н*).

Разъем модели и формы для данного типа отливок обычно выполняют по горизонтальной оси симметрии детали (рис. 19.18, *в*). Разъем по варианту на рис. 19.18, *г* может быть целесообразен, когда очень малый размер *с* детали (тонкие спицы или диск) затрудняет изготовление обычной разъемной модели. В этом случае делают две модели, одна из которых фальшивая. Подвод металла в случае, если деталь маховик, колесо и т.п. с указанными на эскизе (рис. 19.18, *в, г*) соотношениями размеров, осуществляется по разъему под углом к ободу, чтобы не разбивать струей металла песчаный выступ в форме (рис. 19.18, *д*).

Число питателей и размеры элементов литниковой системы определяются общепринятыми методами. Если деталь – шестерня с теми же соотношениями основных размеров, то металл целесообразно подавать в обод снизу (рис. 19.18, *е, к*), в обход зоны, где будут нарезаны зубья шестерни, так как в месте присоединения питателя к отливке по схеме на рис. 19.18, *в, г* в зоне будущего зуба могут оказаться усадочные дефекты из-за перегрева этого места. Так, в схеме на рис. 19.18, *е* появляется стержень Ст-2, позволяющий реализовать этот вариант подвода металла.

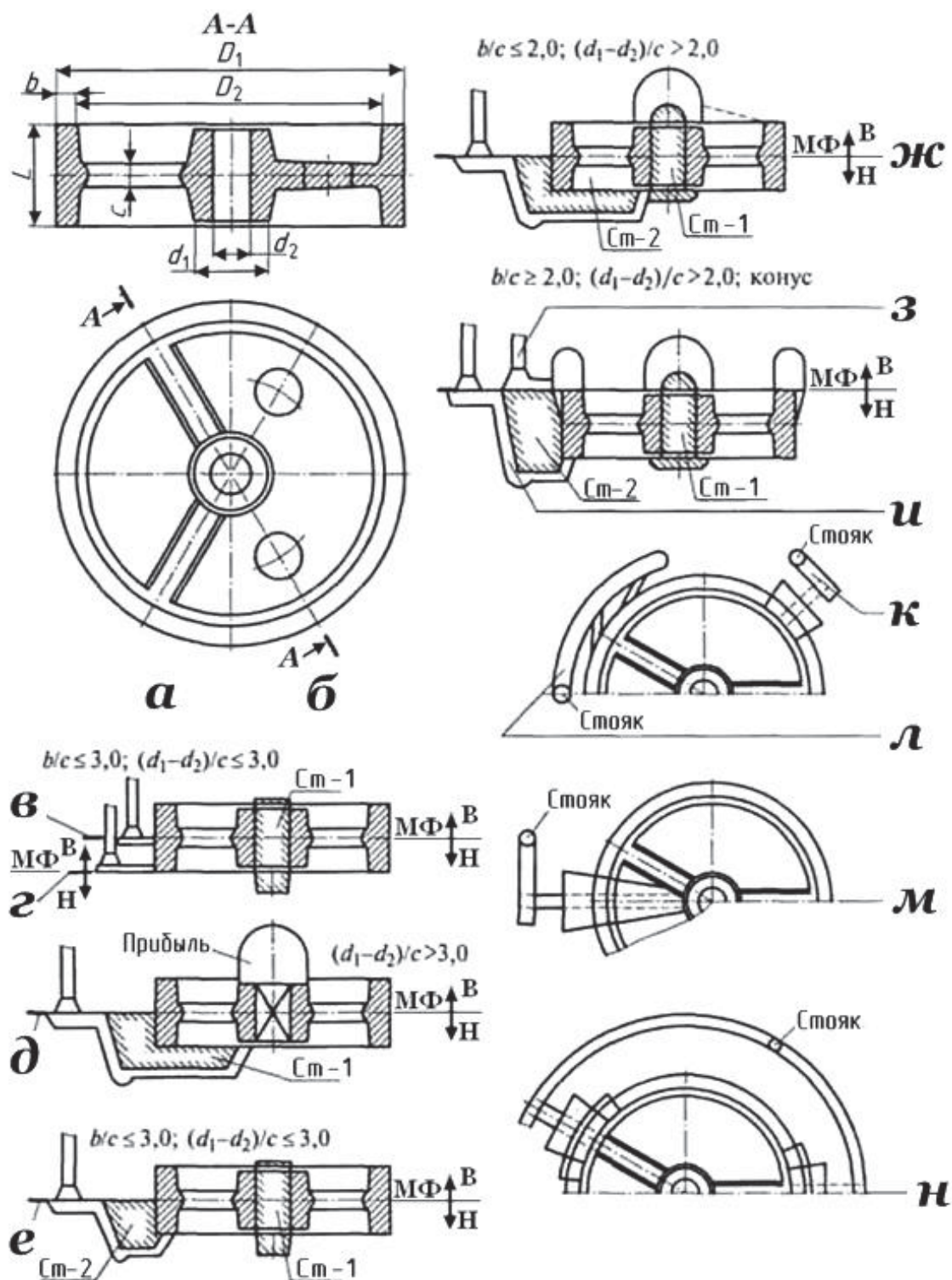


Рис. 19.18. Конструкции деталей отливок типа «колесо» при соединении обода и ступицы: а – спицами; б – диском с отверстиями; в–н – варианты технологических процессов изготовления отливок; D_1 – наружный диаметр колеса; d_1 – наружный диаметр ступицы; d_2 – диаметр отверстия в ступице; L – толщина колеса; b – толщина обода; c – толщина спицы (или диска); D_2 – внутренний диаметр обода

Варианты технологических процессов изготовления отливок:

в – разъем на середине высоты чугунного колеса с подводом металла по разъему;

г – то же, по нижнему краю колеса с таким же подводом металла;

д – разъем стальной отливки и формы (МФ) по варианту *в* с сифонным подводом металла в ступицу и прибылью для ступицы. Стержень Ст-1 служит для сифонного подвода металла. Отверстие в ступице не отливается;

е – разъем чугунного колеса по варианту *в* с сифонным подводом металла в обод. Стержень Ст-1 служит для выполнения отверстия в ступице, стержень Ст-2 – для сифонного подвода металла в обод;

ж – разъем стального колеса по варианту *в* с сифонным подводом в ступицу и прибылью для ступицы. Стержень Ст-1, как в варианте *е*, а стержень Ст-2 – для сифонного подвода металла;

з – разъем по верхнему краю колеса с подводом металла в прибыль на ободе, с прибылью на ступице и стержнем Ст-1 для отверстия в ступице;

и – то же, с сифонным подводом металла в обод и стержнем Ст-2 для сифонного подвода;

к – вид сверху на колесо с сифонным подводом металла;

л – то же, с подводом металла по разъему;

м – вид на колесо сверху с сифонным подводом в ступицу;

н – то же, с сифонным рассредоточенным подводом в обод;

При более массивной ступице (рис. 19.18, *ж*) для исключения вероятности появления в ней усадочных дефектов на ступицу необходимо поставить «прибыль» и для повышения эффективности ее действия подать металл в ступицу (рис. 19.18, *м*). В случае, когда размер d_2 в ступице позволяет использовать центральный стержень, последний вариант может быть реализован по схеме на рис. 19.18, *ж*. Для стальных деталей этой группы из-за повышенной усадки металла прибыль на ступице устанавливают уже при более «жестких» соотношениях основных размеров (рис. 19.18, *ж*).

Очень часто при литье стальных зубчатых колес прибыли устанавливают и на ободе (рис. 19.18, *з*). Изменение разъема модели и формы (МФ) в данном случае диктуется необходимостью заформовать модель с напуском под более широкие прибыли на ободе. Число и размеры прибылей на ободе определяют по известной методике для отливок типа «плита», расположенных при заливке вертикально. Для деталей с относительно небольшим размером L можно использовать подвод металла по разъему в прибыли (рис. 19.18, *з*), что повышает эффективность их действия и исчезает необходимость в использовании стержня Ст-2.

В остальных случаях из-за опасности размыва формы, разбрызгивания и окисления металла, подвод металла осуществляется по варианту, показанному на рис. 19.18, *и, н*, т.е. так же, как и на рис. 19.18, *е*.

Существуют отработанные типовые технологические процессы и для других характерных деталей машиностроения, таких, как глухие крышки, фланцы, полумуфты, крышки подшипников, обоймы, корпуса и крышки редукторов и др. Однако не все имеющиеся разработки пригодны для использования в гибком автоматизированном производстве без изменения, так как во многих случаях они тесно увязаны с серийностью изделий.

Технологический процесс в массовом и крупносерийном производстве должен обеспечивать максимальную производительность за счет автоматизации, отсутствия или минимального использования ручных операций. Отличительной особенностью проектирования и подготовки массового и крупносерийного производств является возможность и экономическая целесообразность этапа отработки (доводки) отдельных принятых решений при относительной длительности периода производства изделий массовых серий (до перехода на изготовление новых изделий или их модификации).

Расходы на доводку раскладываются на большое число отливок, поэтому в несущественной степени сказываются на себестоимости. В то же время даже незначительный экономический эффект за счет модернизации технологического процесса, повышения выхода годного и коэффициента использования металла позволяет получать выгоду из-за значительных объемов производства однотипных отливок. Найденные технологические решения в этих случаях увязаны не только с типом отливки, но и с ее конкретными конструктивными характеристиками.

При частой смене номенклатуры отливок в мелкосерийном и единичном производствах существенная трудность создания и реализации рациональной технологии, обеспечивающей заданное качество отливок в установленные сроки и при минимальных затратах, заключается в ограниченной возможности отработки и доводке технологического процесса. Следовательно, в этом случае при разработке технологии должны приниматься самые эффективные решения с повышенной надежностью, чтобы обеспечить получение годных отливок мелкой серии с первого раза. При этом такие показатели, как технологический выход годного (ТВГ) и коэффициент использования металла (КИМ), могут оказаться не самыми высокими.

Таким образом, разрабатываемый технологический процесс для гибкого автоматизированного производства должен обладать возможностью максимальной автоматизации и изначальной повышенной надежностью принимаемых решений.

Пояснить реализацию этого принципа проще всего на примере отливок, для которых обычно технологические решения в массовом и единичном производствах резко различаются. К такому типу относятся цилиндрические, гладкие и ступенчатые детали (втулки, цилиндры, гильзы и т.п.) с отношением длины к диаметру $l/d > 3,0$.

На рис. 19.19 показаны варианты технологии получения подобной цилиндрической фасонной относительно тонкостенной втулки из чугуна. По техническим требованиям к детали (герметичность при давлении 50 кПа) не допускаются дефекты на наружной и внутренней поверхности, шероховатость на наружных и внутренних опорных поясах $Ra\ 1,25$.

В массовом производстве при изготовлении отливки в песчаных формах на АФЛ ее располагают в форме горизонтально с разъемом по оси симметрии (рис. 19.19, а). Этот не лучший вариант для цилиндрической детали с такими техническими требованиями позволяет использовать относительно невысокие опоки, легко получать хорошее уплотнение формы. В этом варианте надежно устанавливается стержень и т.д.

Для обеспечения требуемого качества в зависимости от типа чугуна и размеров детали отрабатываются разные варианты литниковой системы. Для относительно коротких втулок подача металла осуществляется с торца (вариант I), для длинных тонкостенных втулок подвод металла лучше рассредоточить (вариант II). Если материал детали — чугун марок ВЧ, то может быть использован вариант III с питающими бобышками. Во всех случаях можно предусмотреть промывник с выпором. Окончательные варианты: размеры литниковой системы и промывников, а иногда и детали отрабатываются при отладке технологического процесса, контроле и испытании отливок.

В единичном и мелкосерийном производстве отливку формуют аналогично в горизонтальном положении (рис. 19.19, б), однако изначально надежное качество обеспечивается кантовкой собранной формы и заливкой отливки в вертикальном положении. На верхний торец отливки устанавливают прибыль. Для эффективного действия прибыли в верхней части наружной поверхности отливки заливают углубления (делают напуск) и для той же цели изменяют конфигурацию стержня. Заполнение формы происходит плавно снизу, через несколько питателей, с дополнительной подачей горячего металла в прибыль в конце заливки. Таким образом, на стадии проектирования обеспечиваются отсутствие дефектов и необходимая плотность отливки.

Несмотря на то, что в рассматриваемых вариантах производства уменьшается выход годного и возрастает объем последующей механической обработки, в единичном производстве потери могут многократно возрасти (в том числе и потери времени) в случае малонадеж-

ной технологии и получения некачественных отливок, особенно если это выявляется после их окончательной механической обработки.

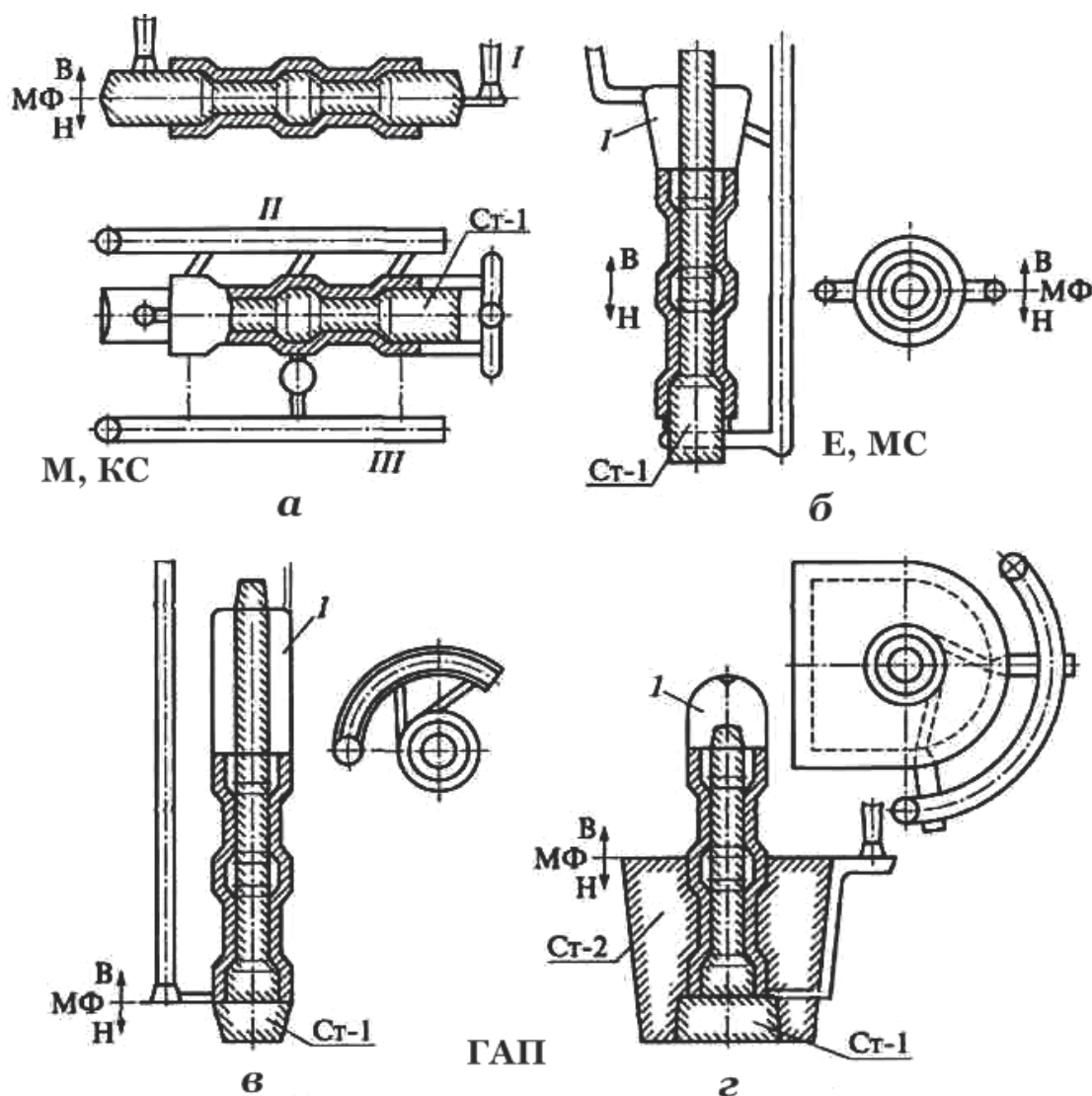


Рис. 19.19. Разработка технологического процесса для гибкого автоматизированного производства (ГАП) чугуновой отливки типа «втулка» в единичном (Е), мелкосерийном (МС), крупносерийном (КС) и массовом (М) производствах: а – формовка и заливка в горизонтальном положении формы; б – горизонтальный разъем при формовке, заливка в вертикальном положении; в – формовка в вертикальном положении с разъемом по нижнему краю; г – разъем отливки втулки примерно по середине ее высоты с сифонным рассредоточенным подводом металла: I – подвод с торца для относительно коротких втулок; II – рассредоточенный подвод для длинных тонкостенных втулок; III – подвод через питающие бобышки для отливок из высокопрочного чугуна; 1 – прибыль; В, Н – верх, низ; МФ – разъем модели и формы; Ст-1 – стержень вертикальный, во всех вариантах выполняющий внутреннюю поверхность втулки; Ст-2 – стержень, выполняющий наружную поверхность втулки

Чтобы подобный надежный вариант мелкосерийного производства реализовать без изменения на современных автоматических линиях, необходимо выполнить как минимум следующее:

- изготовить специальные опоки для автоматической формовки, пригодные для подачи металла в разъем формы с торца;
- снабдить линию дополнительным автоматическим агрегатом для скрепления форм и их кантовки под заливку;
- иметь дополнительные агрегаты для разборки таких форм и т.д.

Все это требует значительных затрат и может быть эффективно лишь при наличии достаточно большого числа подобных отливок на конкретной линии.

Другой путь – разработка технологического процесса ГАП, позволяющего получать такие отливки в общем групповом потоке, не требующие кантовки форм.

Естественно, простое исключение операции кантовки путем размещения отливки в одной полуформе вертикально не реальный вариант (рис. 19.19, в).

Основные недостатки его в сравнении с вариантом на рис. 18.19, б следующие:

- чтобы извлечь отливку из формы, ее наружную поверхность придется делать гладкой, т. е. увеличивается объем механической обработки;
- чтобы извлекалась прибыль при формовке, она должна быть цилиндрической, т.е. неоптимальной формы и, следовательно, иметь большие объем и высоту;
- могут потребоваться очень высокие опоки для верхней полуформы, что усложнит операцию качественного уплотнения формы;
- длинный с маленьким нижним знаком стержень трудно правильно установить при сборке формы.

Видоизмененный вариант, показанный на рис. 19.19, г, лишен указанных выше недостатков:

- отливка формуется в вертикальном положении с разъемом примерно посередине, что резко уменьшает высоту необходимых опок;
- в нижней полуформе отливка оформляется стержнем Ст-2, который позволяет сохранить ее конфигурацию, как на рис. 19.19, б. Этот же стержень позволяет осуществить плавную заливку формы снизу;
- центральный стержень Ст-1 значительно короче и имеет массивный стержневой знак;
- прибыль с атмосферным давлением оптимальной формы за счет отсутствия в ней центрального стержня меньше и действует эффективнее, чем указанная на рис. 19.19, в.

Недостаток варианта – дополнительный стержень. Но на участок

сборки АФЛ поступает один стержень, как и в варианте, рис. 19.19, б, так как стержень Ст-1 предварительно вклеивают в стержень Ст-2 в стержневом отделении.

Таким образом, получается технология, пригодная для гибкого автоматизированного производства на автоматизированной формовочной линии по сформулированным выше параметрам (возможность автоматизации, изначальная надежность).

При использовании любого способа литья в гибком автоматизированном производстве тремя важнейшими условиями быстрой переналадки технологического комплекса на производство новой отливки являются минимальные затраты труда, материалов и времени: 1) на проектирование и изготовление новой оснастки; 2) на отладку технологического процесса по новой оснастке; 3) на смену оснастки и изменение, если необходимо, технологических режимов при переходе на выпуск новых отливок.

Основой сокращения цикла подготовки производства, снижения стоимости оснастки является унификация элементов конструкции оснастки, ее нормализация. Проще всего это полностью реализуется на таких универсальных видах оснастки, как опоки, стержневые и модельные плиты, спутники для транспортировки модельных плит, форм и т.д., используемых в технологических потоках изготовления определенных групп отливок. Те же требования для формообразующей модельной оснастки можно реализовать лишь частично, например, для унифицированных стержневых ящиков.

Конструкция таких ящиков может состоять из одного или двух, если ящик разъемный, унифицированных корпусов с элементами установки и крепления на стержневой машине и сменных элементов – вкладышей, вставок, определяющих геометрию стержня.

Эксплуатируемые длительное время для разных отливок универсальные виды оснастки и унифицированные элементы формообразующей модельной оснастки, безусловно, целесообразно изготавливать из долговечного материала – металла.

Для формообразующих видов и элементов оснастки мелкосерийного производства выбор материала представляет довольно сложную задачу. Известно, что применение металлической модельной оснастки вместо деревянной повышает точность отливок. Однако и стоимость такой оснастки возрастает пропорционально ее стойкости. Например, для отливок массой 10...20 кг при машинной формовке стойкость алюминиевых моделей составляет около 50 тыс. съемов, при использовании чугуновых моделей их стойкость около 100 тыс., для моделей из стали – более 150 тыс., а для деревянных – всего 0,5 тыс. съемов. При мелкосе-

рийном производстве стойкость металлических моделей оказывается реализованной незначительно, и себестоимость отливок может заметно возрасти. Поэтому во всех случаях необходим экономический анализ. Опыт работы показывает, что применение металлических моделей можно считать оправданным, если стоимость одного модельного комплекта равна стоимости всех необходимых для серии деревянных модельных комплектов, включая их текущий ремонт. При таком расчете металлические модели становятся целесообразными для отливок средней сложности массой 10...20 кг уже при их годовом выпуске 800 – 850 шт.

При меньшей серийности в качестве материала моделей можно рекомендовать более дешевую, чем металл, пластмассу, также обеспечивающую более высокую точность отливок в сравнении с деревом. В единичном механизированном производстве форм применяют и деревянные модели, что сопряжено с ограничениями на использование некоторых видов уплотнения форм, например, прессования с высокими давлениями из-за низкого модуля упругости и возможных деформаций дерева при формовке или упрочнения форм, стержней в горячей оснастке.

Выбор материала формообразующей оснастки в конкретном случае должен быть с учетом трудоемкости и длительности процесса ее изготовления.

Например, использование для простых некрупных металлических моделей стандартного металлопроката вместо литых заготовок сокращает срок их изготовления.

Особые перспективы по сокращению сроков изготовления сложной формообразующей оснастки и автоматизации этого процесса связаны с разрабатываемыми методами ее получения лазерной стереолитографией из фотополимерных материалов.

Резервом эффективности гибкого автоматизированного производства является минимизация затрат на отладку оснастки. Это условие может быть реализовано при использовании изначально надежных технологических процессов и за счет повышения геометрической точности изготавливаемой оснастки, что требует, в частности при проектировании технологического процесса, повышения надежности назначения линейной усадки отливок в разных направлениях, припусков на обработку, размеров стержневых знаков и зазоров в них и т. п.

И, наконец, рассмотрим последнее условие – минимизация затрат и времени на смену оснастки и переналадку процесса. При литье в песчаные формы в мелкосерийном производстве для быстрой и точной установки и смены моделей на модельных плитах используют координатные, кассетные и другие конструкции модельных плит. Для мелкосерийного гибкого автоматизированного производства наиболее пригод-

ны кассетные секционные плиты со сменными вкладышами типа плит по ГОСТ 24611 – 81, но с дополнительными дорожками для автоматического перемещения и необходимыми элементами для автоматической замены плит на формовочных блоках.

Комплект кассетной модельной плиты состоит из рамы, и сменных вкладышей, которые центрируются и крепятся в раме. Для обычных разъемных моделей используются кассетные плиты с мелкими вставками высотой 35...40 мм. Если конфигурация модели предусматривает образование песчаного болвана выше плоскости разъема при формовке (модель-фальшивка), то используются плиты с глубокими вставками (до 300 мм). Модельная плита с быстросменными вставками приведена на рис. 19.20.

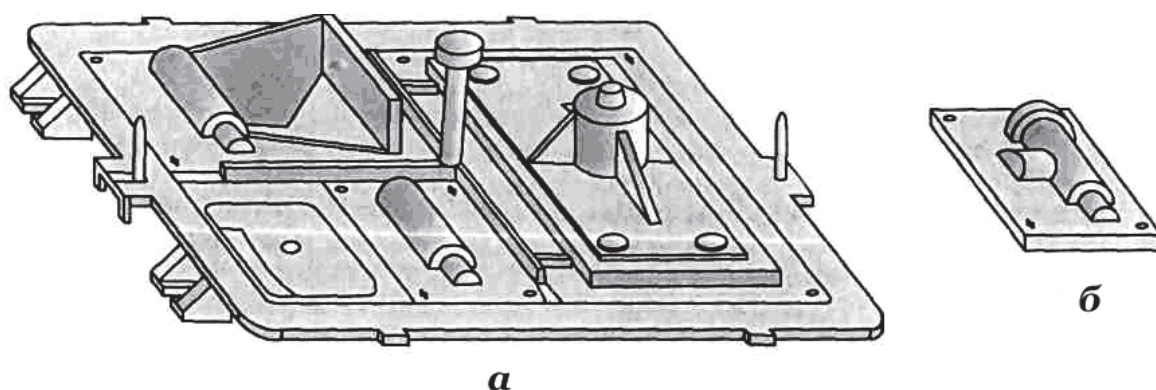


Рис. 19.20. Модельная плита (а) с быстросменными вставками (б) по ГОСТ 12 2 003–91, ГОСТ 12.1.019–79, ГОСТ 12.1.003–83507

Особая проблема возникает при разработке компоновки модельных плит для гибкого автоматизированного производства в случаях мелких серий небольших отливок. Когда изготовление нескольких одинаковых моделей экономически нецелесообразно, повысить эффективность использования автоматизированных формовочных линий можно, лишь размещая на одной модельной плите модели отливок разных наименований, т. е. осуществляя разнородный принцип монтажа моделей (при этом на каждой модельной вставке целесообразно размещать одну модель).

В отличие от более предпочтительного организационно и технически однородного принципа, обычно используемого в массовом и крупносерийном производстве, в данном случае необходимо выполнение следующих требований:

- отливки, модели которых размещаются на одной модельной плите, должны изготавливаться из одинакового сплава;
- желательно, чтобы отливки имели одинаковую серийность;
- целесообразно подбирать отливки с одной и той же средней ме-

таллоемкостью формы;

– конфигурация моделей на плите должна обеспечивать получение качественной формы при одинаковых свойствах формовочной смеси и режимах уплотнения или упрочнения.

Если для первых трех условий не требуются дополнительные пояснения, то для последнего они необходимы.

Анализ работы современных автоматизированных формовочных линий в крупносерийном производстве показывает, что чем разнороднее по конфигурации номенклатура отливок, производимых на одной линии, тем более высокий уровень брака отливок на ней по вине дефектов формы — «обвал», «нарост», песчаные раковины и т.д. Связано это с тем, что обычно все формы на линии изготавливаются с использованием практически одинаковых свойств формовочной смеси и режимов уплотнения, которые не для каждого наименования отливки оказываются одинаково оптимальными.

Следовательно, подбирая отливки на одну модельную плиту из разнородной по геометрии группы отливок, важно оценить сложность моделей с учетом их совместимости для получения качественной формы. В одной форме следует размещать отливки с одинаковыми или близкими объективными показателями сложности их моделей и для таких форм назначать затем оптимальные режимы изготовления.

В то же время установлено, что ни один из известных простых показателей оценки сложности отливки (например, коэффициенты массивности, компактности, приведенный размер), взятый в отдельности, не имеет необходимого уровня корреляционной связи с величиной брака отливок, определяемого качеством изготовления литейной формы. На возникновение таких дефектов оказывают влияние геометрические характеристики модели и отливки, расположение модели на плите и форме, плотность монтажа и т.д.

Уменьшить трудоемкость изменения монтажа секционных модельных плит и изготовления оснастки можно путем унификации элементов литниковой системы.

Например, для обычных литниковых сужающихся (запертых) систем отливка с питателем, сечение которого обеспечивает необходимое время ее заполнения, располагается на секционной вставке. Унифицированные же по конфигурации и размерам шлакоуловитель и стояк крепятся постоянно на прижимных разделительных планках.

Возможны три принципиально различных положения стояка на модельной плите: одно в центре плиты и два посередине большой или малой стороны плиты. В конкретных условиях с учетом номенклатуры отливок целесообразных положений стояка может быть и меньше. Фор-

мы шлакоуловителей должны соответствовать схемам расположения планок на плите.

И, наконец, возможность быстрой, а тем более автоматической смены модельной плиты при формовке обусловлена не только ее конструкцией, но и типом применяемого оборудования. Так, например, на многопозиционном формовочном агрегате можно организовать автоматическую замену оснастки в цикле работы без его остановки. Еще проще этот процесс реализовать в формовочных комплексах, работающих по принципу «скользящей оснастки» без ее постоянного нахождения на какой-либо позиции.

Задачи проектирования, изложенные выше, рассмотрены для разработки технологического процесса изготовления отливок мелких серий в гибком автоматизированном производстве. При этом лишь отдельные решения (например, на некоторых предприятиях разработаны типовые технологии изготовления мелкосерийных отливок) используются на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. – М.: Машиностроение, 1977. – 510 с.
- 2 Берг П. П. Формовочные материалы. – М.: Машгиз, 1963. – 407 с.
- 3 Валисовский И. В., Медведев Я. И. Технологические испытания формовочных материалов. – М.: Машиностроение, 1963. – 223 с.
- 4 Медведев Я. И. Газы в литейной форме. – 1965. – 240 с.
- 5 Василевский П. Ф. Технология стального литья. – М.: Машиностроение, 1974. – 408 с.
- 6 Чернов Ю. И., Кизилов А. И. Справочник по литейной оснастке. – М.: Машиностроение, 1961. – 408 с.
- 7 Воздвиженский В. М., Жуков А. А., Бастратов В. К. Контроль качества отливок: Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
- 8 Галдин Н. М., Чистяков В. В., Шатульский А. А. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. – М.: Машиностроение, 1992. – 256 с.
- 9 Гуляев Б. Б. Литейные процессы. – М.: Машиностроение, 1960. – 264 с.
- 10 Допуски и посадки: Справочник: В 2-х т. / Мягков В. Д., Палей М. Л., Романов А. Б., Брагинский В. А. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 300 с.
- 11 Сергеевичев Н. Ф. Модельное производство, – М.: Машиностроение, 1962. – 160 с.
- 12 Ложичевский А. С. Литейные металлические модели. – М.: Машиностроение, 1973. – 347 с.
- 13 Дубицкий Г. М. Литниковые системы. – М.; Свердловск: Машгиз, 1962. – 256 с.
- 14 Пржибыл Й. Теория литейных процессов. Пер. с чешск. – М.: Мир, 1967. – 328 с.
- 15 Рубцов Н. Н. История литейного производства в СССР. – М.: Машгиз, 1962. – 350 с.
- 16 Справочник литейщика. Чугунное литье. / Под ред. Рубцова Н. Н. – М.: Машиностроение, 1961. – 776 с.
- 17 Справочник литейщика. Фасонное, стальное литье. / Под ред. Рубцова Н. Н. – М.: Машиностроение, 1962. – 612 с.
- 18 Справочник литейщика. Общие сведения по литью. / Под ред. Рубцова Н. Н. – М.: Машиностроение, 1962. – 524 с.

- 19 Тодоров Р. П., Пешеев П.Ц. Дефекты в отливках из черных сплавов. Пер. с болгар – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.
- 20 Технология литейного производства. Учебник. /Под ред. Трухова А. П. М.: АСFDЕМА, 2005. – 528 с.
- 21 Литейные дефекты и способы их устранения. Под ред. Лакедемского А. В. – М.: Машиностроение, 1972. – 152 с.
- 22 Бутаков Д. К. Технологические основы повышения качества легированной стали для отливок. – М.: Машиностроение, 1963. – 192 с.
- 23 Арсов Я. Б. Стальные отливки. Пер. с болгар – М.: Машиностроение, 1977. – 176 с.
- 24 Волынский А. Я. Литейные формы и их сборка – М.: Машиностроение, 1967. – 294 с
- 25 Рихтер Р. Конструирование технологичных отливок. Пер. с немецкого. – М.: Машиностроение, 1968. – 256 с.
- 26 Анисимов Н. Ф., Благоев Б. Н. Проектирование литых деталей. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
- 27 Груздев А. Н. Механизированное изготовление стержней для литейных форм. – М.: Машиностроение, 1967. – 294 с.
- 28 Рыжиков А. А. Технологические основы литейного производства. – М.: Машиностроение, 1967. – 528 с.
- 29 Иванов В.Н. Словарь–справочник по литейному производству – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
- 30 Фомченко С. И., Балакин И. Я., Докторович А. С., Костров Л. Н. Очистка отливок. – М.: Машиностроение, 1969. – 264 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

КНИГА 2

Глава 11 Литниковые системы.....	3
11.1. Конструкции литниковых систем.....	3
11.2. Определение размеров литниковых систем.....	15
11.2.1. Схемы устройств литниковых систем для разных сплав.....	15
11.2.1.1. Схемы литниковых устройств для чугунных отливок.....	15
11.2.1.2 Схемы литниковых устройств для стальных отливок.....	19
11.2.1.3. Схемы литниковых устройств для отливок из цветных сплавов.....	22
11.2.2. Определение площади узкого сечения литниковой системы.....	30
11.2.3. Определение размеров центробежного шлакоуловителя.....	34
11.2.4. Определение площади сечения, размеров и объёма реакционных камер.....	35
11.2.5. Определение размеров фильтровальной сетки.....	37
Глава 12. Получение плотных отливок.....	38
12.1. Наружные холодильники.....	40
12.2. Внутренние холодильники.....	43
12.3. Технологический напуск.....	45
12.4. Конструкции прибылей.....	48
12.5. Расчёт прибылей.....	59
12.5.1. Определение тепловых узлов.....	59
12.5.2. Определение числа прибылей.....	60
12.5.3. Расчёт массы (объёма) и размеров прибылей для отливок, изготавливаемых в песчано-глинистых формах.....	62
12.5.4. Расчёт холодильников.....	66
Глава 13 Выбивка отливок из форм и способы их очистки от формовочной смеси и пригара.....	68
13.1. Охлаждение отливок в форме.....	68

13.1.1. Определение температуры и времени выбивки отливок и времени их охлаждения после выбивки.....	69
13.2. Этапы выбивки отливок из форм.....	73
13.2.2. Инерционная выбивка.....	74
13.2.3. Выбивка методом прошивания.....	75
13.2.4. Разделение смеси и отливок.....	77
13.3. Удаление стержней из отливок.....	79
13.3.1. Пневматическая вибрационная удаление стержней.....	79
13.3.2. Водоструйная очистка.....	79
13.3.3. Электрогидравлическая выбивка стержней.....	83
13.3.4 Удаление каркасов стержней.....	85
13.4. Методы отделения литниковых систем от отливок.....	85
13.5. Очистка отливок от пригара и мелких заливов.....	86
13.5.1. Классификация и выбор способа очистки отливок.....	86
13.5.2. Очистка отливок в галтовочных барабанах.....	95
13.5.3. Вибрационная очистка.....	98
13.5.3.1. Выбор наполнителя.....	105
13.5.3.2. Виброгидроабразивная очистка.....	109
13.5.3.3. Конструкции вибрационных установок.....	110
13.5.4. Гидроабразивная очистка.....	114
13.5.4.1. Режимы и основные параметры гидроабразивной очистки.....	116
13.5.4.2. Установки для гидроабразивной очистки.....	118
13.5.5. Очистка отливок дробью.....	123
13.5.5.1. Дробеструйная очистка отливок.....	123
13.5.5.2. Дробеметная очистка отливок.....	126
13.5.5.3. Дробь для очистки отливок.....	128
13.5.5.4. Установки для очистки дробью.....	129
13.5.5.4.1. Дробеструйные установки.....	129
13.5.5.4.2. Дробеметные установки.....	131
13.5.6. Огневая очистка.....	138
13.5.6.1. Газокислородная резка.....	138
13.5.6.2. Газопламенная очистка и обрубка.....	142

13.5.6.3. Кислородно-флюсовая очистка и резка.....	144
13.5.6.4. Газоэлектрическая очистка и резка.....	149
13.5.7. Очистка отливок кругами.....	156
13.5.7.1. Очистка абразивными кругами.....	156
13.5.7.2. Очистка металлическими кругами.....	158
13.5.7.3. Оборудование для очистки отливок круга.....	160
13.5.8. Очистка отливок электрическими способами.....	162
13.5.8.1. Электроконтактная очистка.....	163
13.5.8.2. Электрохимическая очистка.....	165
Глава 14. Особенности взаимодействия отливки и формы.....	171
14.1. Давление металла на форму и стержни.....	171
14.2. Подутие отливок.....	173
14.3. Образование газовых раковин в отливках.....	175
14.4. Нагрев поверхностных слоев формы и связанные с этим явления.....	181
14.4.1. Ужимины.....	182
14.4.2. Засоры.....	186
14.4.3. Основные условия борьбы с ужимами и засорами.....	187
14.5. Пригар на поверхности отливок.....	188
14.5.1. Химический пригар.....	189
14.5.2. Механический пригар.....	195
14.5.3. Спекание смесей.....	198
14.6. Способы уменьшения пригара в отливках.....	200
Глава 15. Напряжения в отливках и их последствия.....	211
15.1. Классификация литейных напряжений.....	211
15.2. Классификация конструкций отливок по напряжениям.....	213
15.2.1 Влияние нежесткости конструкции на термические напряжения.....	214
15.3. Горячие трещины в отливках.....	216
15.4. Холодные трещины и деформации в отливках	221
15.4.1. Механизм литейных напряжений.....	221
15.4.1.1. Остаточные термические напряжения.....	222
15.4.1.2. Временные термические напряжения.....	228

15.4.1.3. Фазовые напряжения.....	229
15.4.2. Влияние размеров и формы отливки на величину напряжений.....	233
15.4.2.1. Напряжения при термической обработке отливок.....	233
15.4.2.2. Отжиг для уменьшения напряжений.....	235
15.4.3. Меры предупреждения растрескивания отливок.....	235
15.4.3.1. Испытания на литейные напряжения.....	236
Глава 16. Формирование точности отливок.....	238
16.1. Основные понятия и терминология.....	238
16.2. Точность размеров.....	240
16.2.1. Особенности формирования точности размеров.....	240
16.2.2. Анализ факторов, влияющих на точность размеров.....	242
16.3. Точность формы и расположения элементов.....	254
16.4. Шероховатость и неровность поверхностей отливок.....	258
16.4.1. Шероховатость поверхностей отливок.....	258
16.4.2. Неровность поверхностей отливок.....	258
16.5. Точность массы отливок.....	259
16.6. Припуски на механическую обработку.....	260
16.6.1. Исходный литейный припуск.....	261
16.6.2. Параметр геометрической точности.....	263
16.6.3. Определение общего припуска.....	264
16.7. Пути повышения точности отливок.....	266
16.7.1. Стабилизация технологических параметров.....	266
16.7.2. Повышение геометрической точности отливок.....	268
16.7.3. Использование асимметричных допусков в размерах отливок.....	270
16.7.4. Уменьшение систематических погрешностей.....	270
Глава 17 Литейные дефекты в отливках из железоуглеродистых сплавов.....	272
17.1. Классификация литейных дефектов.....	273
17.1.1. Первая группа дефектов – несоответствие по геометрии.....	273
17.1.2. Вторая группа дефектов – дефекты поверхности.....	289

17.1.3. Третья группа дефектов – несплошности в теле отливки.....	302
17.1.4. Четвертая группа дефектов – включения.....	384
17.1.5. Пятая группа дефектов – несоответствие по структуре.....	390
Глава 18 Контроль и аттестация точности отливок.....	396
18.1. Контроль точности.....	396
18.1.1. Методы и средства контроля.....	397
18.1.2. Определение объемов партии для проведения контроля точности размеров.....	400
18.1.3. Пример проведения контроля.....	401
18.1.4. Аттестация точности отливок.....	402
18.1.5. Аттестация и определение фактического класса точности размеров.....	402
18.1.6. Корректировка модельно-стержневой оснастки.....	403
18.2. Контроль чистоты поверхности.....	404
18.3. Контроль химического состава.....	406
18.3.1. Термографический контроль углеродного эквивалента.....	406
18.3.2. Спектральный контроль.....	408
18.4. Контроль герметичности.....	409
18.5. Контроль температуры.....	410
Глава 19 Проектирование технологического процесса изготовления отливок.....	414
19.1. Разработка чертежа отливки.....	416
19.1.1. Выбор баз механической обработки.....	416
19.1.2. Определение допусков и припусков на механическую обработку.....	418
19.2. Проектирование технологии литейной формы.....	424
19.2.1. Рекомендации по выбору положения отливки в форме и плоскости разъема.....	424
19.2.2. Формирование внешних и внутренних поверхностей отливок.....	428
19.3. Конструирование знаков стержней.....	430

19.3.1. Конструирование знаков стержней для опочной формовки.....	430
19.4. Определение габаритов опок	436
19.5. Примеры разработки технологического процесса.....	437
19.6. Проектирования технологического процесса автоматизированного производства отливок.....	441
Список литературы.....	457

КНИГА 1

Предисловие.....	3
Глава 1. Технологический процесс изготовления отливок в песчано-глинистых формах.....	4
Глава 2. Технологичность литых деталей. Возможности их изготовления.....	8
2.1. Сплав.....	8
2.2. Минимальная толщина стенки.....	9
2.3. Радиусы переходов и сопряжений стенок литых изделий.....	10
2.4. Литейные радиусы.....	13
2.5. Формовочные (литейные) уклоны.....	15
2.6. Минимальный диаметр литого отверстия.....	22
2.7. Оценка конструкционной технологичности литых деталей.....	24
2.7.1. Анализ технологичности с учетом возможных способов формообразования отливок.....	26
2.8. Точность отливки.....	39
2.9. Шероховатость поверхности отливок.....	39
2.10. Герметичность отливок.....	40
Глава 3. Модельно-стержневая оснастка и опоки и прочий инструмент и приспособления.....	41
3.1. Модельно-стержневая оснастка.....	41
3.1.1. Деревянные модели и стержневые ящики.....	43
3.1.2. Металлические модели, модельные плиты и стержневые ящики.....	46

3.1.3. Стержневые ящики.....	55
3.1.4. опоки.....	63
3.1.5. Прочий инструмент и приспособления.....	71
Глава 4. Формовочные материалы и смеси.....	79
4.1. Требования, предъявляемые к формовочным смесям и формам.....	79
4.2. Технологические свойства смесей.....	81
4.3. Формовочные пески.....	103
4.3.1. Кварцевые пески.....	103
4.3.2. Классификация песков по ГОСТ 2138.....	104
4.3.3. Определение содержания глинистых составляющих.....	106
4.3.4. Определение среднего размера зерна и коэффициента однородности (ГОСТ 29234.3 – 91).....	108
4.3.5. Область применения кварцевых песков.....	111
4.3.6. Некварцевые пески.....	111
4.4. Формовочные глины и песчано-глинистые смеси.....	115
4.4.1. Классификация глин.....	116
4.4.2. Активация глин.....	124
4.4.3. Способы введения глин в формовочную смесь	125
4.4.4. Специальные добавки в песчано-глинистые смеси.....	126
4.4.5. Песчано-глинистые смеси.....	126
4.5. Неглинистые связующие материалы и песчаные смеси с ними.....	138
4.5.1. Песчаные смеси с неорганическими связующими материалами.....	138
4.5.2. Песчаные смеси на органических связующих.....	143
4.6. Противопригарные добавки и покрытия литейных форм.....	156
4.7. Регенерация песков.....	161
Глава 5. Методы упрочнения литейных форм и стержней.....	166
5.1. Механические способы уплотнения.....	166
5.1.1. Прессование.....	167
5.1.2. Уплотнение встряхиванием.....	175
5.1.3. Уплотнение с помощью пескомёта.....	178

5.1.4. Уплотнение пескодувным и пескострельным методами.....	180
5.1.5. Импульсное уплотнение.....	184
5.1.6. Прессово-ударное уплотнение.....	186
5.1.7. Уплотнение форм из самотвердеющих смесей	187
5.2. Тепловые способы упрочнения.....	187
5.2.1. Сушка форм и стержней горячими газами.....	189
5.2.2. Сушка инфракрасным излучением.....	191
5.3. Химические способы упрочнения.....	192
5.4. Физические способы упрочнения.....	193
5.4.1. Вакуумно-пленочный способ изготовления формы.....	193
5.4.2. Литье по газифицируемым моделям.....	196
Глава 6. Технология ручной формовки.....	198
6.1. Формовочный инструмент.....	199
6.2. Формовка в опоках по разъемной модели.....	204
6.3. Формовка в двух опоках с подрезкой.....	205
6.4. Формовка по модели с отъемными частями.....	207
6.5. Формовка с перекидным болваном.....	208
6.6. Формовка с подъемным болваном.....	209
6.7. Формовка с фальшивой опокой.....	210
6.8. Формовка в трех опоках.....	211
6.9 Формовка по шаблону.....	212
6.9.1. Формовка протяжными шаблонами.....	212
6.9.2. Формовка вращающимся шаблоном.....	214
6.10. Формовка в стержнях.....	216
6.11. Формовка по скелетным моделям.....	218
6.12. Формовка в почве (кессонах).....	219
6.12.1. Формовка в мягкой постели.....	219
6.12.2. Формовка в твердой постели.....	224
6.13. Производство крупных стальных и чугунных отливок.....	226
6.13.1. Совершенствование технологических процессов изготовления крупных литейных форм.....	227
6.13.2. Конструкция литейных кессонов.....	230
6.13.3. Формовка в литейных кессонах.....	232

6.13.4. Применение формовки в жакетах и в механизированных кессонах.....	239
6.14. Крепление элементов формы.....	244
6.15. Уход за крупной формой.....	258
Глава 7. Технология машинной формовки.....	261
7.1. Опочная формовка.....	262
7.2. Бсзопочная формовка.....	265
7.3. Автоматизированная опочная и бсзопочная формовка.....	267
7.4. Протяжка моделей и стержневых ящиков	272
7.4.1. Анализ усилий, действующих на формы при протяжке моделей.....	272
7.4.2. Конструктивные решения, обеспечивающие качественную протяжку моделей.....	274
Глава 8. Изготовление стержней.....	278
8.1. Классификация и конструктивные особенности литейных стержней.....	278
8.1.1. Виды стержней.....	278
8.1.2. Требования, предъявляемые к стержням.....	281
8.1.3. Знаки стержней, методы крепления стержней в форме.....	283
8.1.4. Арматура для стержней.....	286
8.1.5. Вентиляция стержней.....	289
8.2. Ручное изготовление стержней с конвективной сушкой.....	291
8.2.1. Изготовление стержней по ящикам.....	292
8.2.2. Изготовление крупных стержней.....	295
8.3. Машинное изготовление стержней с конвективной сушкой.....	301
8.3.1. Изготовление стержней на мундштучных машинах.....	301
8.3.2. Пескометное уплотнение стержней.....	302
8.3.3. Уплотнение стержней на встряхивающих формовочных машинах.....	302
8.3.4. Уплотнение стержней прессованием.....	303
8.3.5. Пневматическое уплотнение стержней.....	303
8.4. Технология изготовления стержней по горячей оснастке.....	307

8.4.1. Бункерный способ изготовления оболочковых стержней.....	309
8.4.2. Пескодувный способ изготовления оболочковых стержней путем надува смеси.....	310
8.4.3. Центробежный способ изготовления оболочковых стержней.....	311
8.4.4. Кронинг-процесс.....	312
8.5 Изготовление стержней по холодной оснастке.....	313
8.5.1. Выбор способов изготовления и характеристика процессов отверждения стержней из холоднотвердеющих смесей.....	315
8.6. Сборка, контроль и хранение стержней.....	321
Глава 9. Сборка форм.....	322
9.1. Подготовка к сборке.....	322
9.2. Установка стержней в форму.....	325
9.3. Закрепление стержней в форме.....	334
9.4. Вывод газов из собранной формы.....	340
9.5. Проверка точности собираемой формы.....	348
9.6. Заделка весок и зазоров.....	356
9.7. Использование жеребеек.....	359
9.8. Спаривание полуформ.....	360
9.9. Подготовка собранной формы к заливке.....	364
9.10. Особенности сборки первой опытной формы.....	370
9.11. Сборка форм сложных отливок в условиях массового производства.....	373
9.12. Выбор способов изготовления литейных форм.....	377
Глава 10. Заливка форм.....	382
10.1. Разливочные ковши.....	384
10.1.1. Расчет емкости ковша.....	388
10.1.2. Расчет числа ковшей или заливочных устройств.....	388
10.2. Автоматизация заливки.....	389
Список литературы.....	393

Учебное издание

МОЖАРИН Владимир Павлович

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Учебное пособие

Научный редактор
кандидат технических наук, доцент
А.М. Апасов

Редактор *Л.А. Холопова*
Компьютерная верстка и дизайн обложки
В.П. Можарин

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 31.05.2011. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл. печ. л. 27,21. Уч.-изд. л. 24,61.

Заказ 782-11. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru