

Протекание по поверхности отливки большого количества металла или медленная заливка формы, приводят к перегреву участков формы и возникновению пригара. **Повышение жидкотекучести металла** оказывает большое влияние на увеличение скорости заполнения формы и снижает перегрев ее поверхности. Металлостатическое давление значительно влияет на пригар. С повышением давления металла увеличивается пригар.

3. Недостаточное количество, неправильно расположенные или заглушенные венты приводят к некачественному надуву стержня. Образующаяся рыхлость стержня, в свою очередь, способствует возникновению пригара. Аналогичный дефект можно получить при низком давлении воздуха. Это наиболее распространенный дефект при надуве стержневой смеси в ящик.
4. Зачистка, опиловка или шлифовка стержней приводят к получению грубой поверхности стержня. Даже в окрашенных стержнях на этой поверхности возникает опасность возникновения пригара, потому что на зачищенной поверхности открывается доступ к более пористой части стержня.

Недостаточно просушенные покрытия могут легко растрескаться или шелушиться в результате испарения влаги при высокой температуре. При контакте с металлом возникает пригар.

Опасность возрастания пригара увеличивается, если отливку оставить в форме и не выбивать в горячем состоянии.

Глава 7.2. Ужимины

Описание дефекта

Ужимины возникают в результате быстрого нагрева рабочей поверхности формы и представляют собой утолщения на поверхности отливки, под которым находится полость, заполненная формовочным материалом. В зависимости от условий образования ужимины могут иметь вид неглубоких вытянутых канавок или впадин, тонких, плоских, неправильной формы наростов, сопровождающихся значительными песчаными включениями.

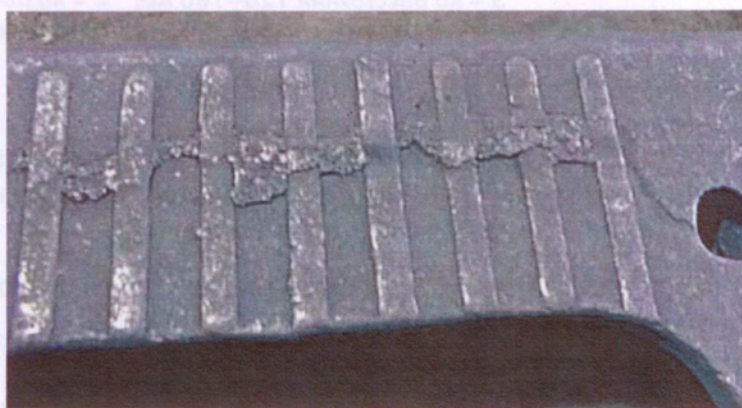


Рис. 7.2.1. Отливка «Балансир» с дефектом «Ужимина»

Механизм формирования ужимин

В процессе заливки поверхностные слои формы быстро высыхают, а испаряющаяся из них влага перемещается в менее прогретые слои формы, где конденсируется, образуя зону с низкой прочностью и значительно повышенной влажностью при температуре около 100°C. Одновременно начинается расширение формовочной и стержневой смесей, сопровождающееся объемными и линейными расширениями формы.

Под действием этих напряжений возможно отслоение и разрушение поверхностной корки формы вдоль зоны конденсации влаги. Заполняющий форму металл воспроизводит дефект отслоения поверхности формы, в результате чего на поверхности отливки формируются дефекты, называемые ужиминами. Форма данного дефекта отливок может быть в виде борозд, просечек, плены и других формообразований.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Формовочные смеси для снижения ужимин

Для предотвращения ужимин подбирают формовочные смеси с низким коэффициентом термического расширения, обладающие достаточно высокой способностью к релаксации напряжений. Наиболее эффективно снижают напряжения древесная и злаковая мука, сульфитная барда, молотый каменный уголь. Эффективным является каменный уголь (размер фракции 0,05–0,315 мм), который при температуре 340–380°C без доступа воздуха превращается из твердого в пластическое состояние, а затем при 480–500°C постепенно затвердевает, образуя пористую массу.

Для снижения ужимин в состав формовочной смеси вводят асбестовую и торфяную крошки, представляющие собой волокнистые вещества. При приготовлении смеси они равномерно распределяются в ее массе, а при изготовлении формы как бы армируют ее. В процессе заливки формы металлом армирующие волокна не дают возможности отслоившейся корке формы обламываться и затекать под нее металлу, что предотвращает образование просечек и ужимин. Наибольший эффект при их ликвидации достигается в совместном введении размягчающихся и армирующих добавок.

При чрезмерном поверхностном уплотнении формовочной смеси возрастает опасность образования ужимин, поскольку значительно возрастают температурные напряжения и модуль упругости уплотненной формовочной смеси. Под действием этих напряжений возможно интенсивное расширение, отслоение и разрушение переуплотненного слоя смеси. Следовательно, для снижения возможности образования ужимин поверхностную твердость формы в местах возникновения ужимин рекомендуется держать в пределах 50 ед. (по твердомеру).

Плотно набитые формы (с повышенной твердостью до 80–90 ед.), при наличии плоских поверхностей и повышенной температуры, проявляют склонность к возникновению ужимин. На рис. 7.2.2 представлена отливка «Крышка стола» с ужиминами из-за повышенной твердости формы.

§2. Влажность формы

При заливке влажной формы жидким металлом происходит интенсивное проникновение влаги вглубь формы с образованием переувлажненного слоя. В этот момент образуется реальная возможность образования ужимин по переувлажненному слою, прочность которого невысока. Повысить прочностные свойства зоны конденсации влаги можно за счет:

- 1) активации глинистых составляющих с понижением влажности смеси. В этом случае можно идти по двум направлениям:
 - используя в качестве глинистой составляющей активированного суспензионного бентонита, значительно превосходящего по прочностным свойствам огнеупорную глину. Это приведет к уменьшению содержания связующей композиции в составе смеси и, следовательно, к уменьшению ее влажности при сохранении высокой прочности;



Рис. 7.2.2. Отливка «Крышка стола» с ужинойой



Рис. 7.2.4. Отливка «Опорный стол» с ужинойой



Рис. 7.2.5. Отливка «Плита» с ужинойой



Рис. 7.2.3а. Отливка «Колесо рабочее» с ужинойой

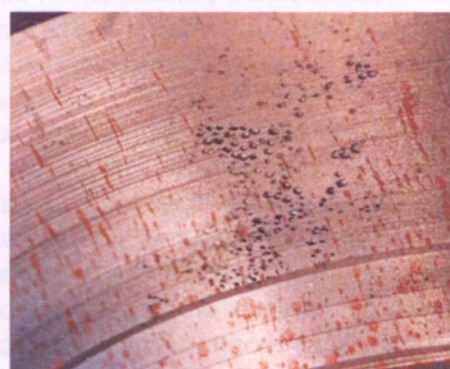


Рис. 7.2.3б. Фрагмент поверхности отливки, где после механической обработки вскрылись газовые раковины



Рис. 7.2.6а. Отливка «Коллектор» с ужинойой



Рис. 7.2.6б. Фрагмент отливки с ужинойой (увеличено)

- активация глинистой составляющей определенным количеством кальцинированной соды. В этом случае также происходит повышение прочности смеси в зоне конденсации влаги;

2) введения в состав смеси производных крахмала и целлюлозы, например, крахмалита, представляющего собой порошок, получаемый при термической обработке крахмало-белковой суспензии кукурузы. Используется в формовочной смеси для ответственного литья в количестве до 0,1% с целью повышения поверхностной прочности сырых форм. В зоне конденсации влаги, нагретой до 100°C, они энергично поглощают влагу и предотвращают смесь от отслоения. Рекомендуемое содержание влаги в смеси до 4%.

На рис. 7.2.3а представлена отливка «Колесо рабочее» с дефектом «Ужimina», образовавшимся со стороны обкладного стержня, формировавшего эту поверхность. Стержни изготавливались из жидкостекольной смеси с тепловой сушкой. В связи с кратковременным циклом сушки средняя часть стержня была недосушена и в процессе хранения влага сосредоточилась по стержню, в том числе и по его поверхности. В момент заливки стержень начал нагреваться с поверхности, влага стала проникать вглубь стержня и образовались ужимины. Характер ужимин стержней отличается от ужимин со стороны влажной формовочной смеси (рис. 7.2.3а) и объясняется твердостью поверхности стержня. После механической обработки поверхности отливки установлено, что она, кроме ужимин, поражена мелкими светлыми раковинами (рис. 7.2.3б), которые возникают со стороны влажной поверхности обкладного стержня. Более подробно этот дефект описан в разделе «Газовые раковины».

§3. Заливка формы металлом

Время заливки стали

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

Скорость заливки чугуна

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

§4. Облицовочная смесь

Сталь

В качестве облицовочных смесей для ликвидации ужимин нашли широкое распространение быстротвердеющие жидкостекольные песчано-глинистые смеси, используемые при производстве отливок, как из углеродистых, так и из легированных сталей. С составами облицовочных смесей можно ознакомиться в 7.1. §4.

Облицовочные смеси на основе хромомагнетитовых, хромитовых и цирконовых наполнителей используются, преимущественно, для крупных, тяжелых отливок с увеличенной толщиной стенок и высокой температурой заливаемого расплава. Толщина облицовочного слоя хромомагнетитовых смесей не превышает 10–15 мм из-за недостаточной газопроницаемости, но достаточных условий для ликвидации ужимин. Некоторые составы высокоогнеупорных смесей приведены в 7.1. §4.

При изготовлении массивных отливок с плоской поверхностью часто возникают ужимины по классической схеме. На рис. 7.2.4 представлена отливка «Опорный стол» с дефектом «Ужимина» на верхней поверхности. В связи с массивностью отливки принято решение использовать в верхней форме облицовочную смесь на основе магнезита. В дальнейшем ужимины не образовывались.

Чугун

Облицовочная смесь применяется в условиях единичного, серийного и, в ряде случаев, массового производства. Она наносится на модель слоем 5–10 см в местах отливки, подверженных образованию ужимин. Облицовочная смесь непосредственно подвергается наибольшему тепловому воздействию металла и должна противостоять явлениям образования ужимин.

Для ликвидации возникновения ужимин эффективно использовать облицовочные смеси на основе песков с малым коэффициентом линейного расширения (циркона, оливина, хромистого железняка). Кроме этого, положительные результаты получаются при применении облицовочных смесей с использованием активированного бетонита совместно с производным крахмала — крахмалитом. В этом случае поглощение крахмалитом влаги в зоне ее конденсации способствует сохранению высоких прочностных свойств смеси с активированным бентонитом (см. 7.1. §4).

§5. Противоужимные риски

При заливке формы металлом происходит разогрев ее поверхности, сопровождаемый термическим расширением материала формы. Для предотвращения возможности образования при этом ужимин широко используется прием нанесения на поверхность формы параллельных рисков, образующих сплошную сетку, называемую температурной или противоужимной. При делении подсушиваемой поверхности корки формы параллельными рисками на более мелкие части, расширение каждой из них становится меньше предельной величины, при которой она может оторваться. Вследствие этого даже при значительном прогреве поверхности формы расширение этих участков не приводит к их отслоению и ужимин не образуется.

Шаг сетки зависит от температуры металла (чем выше температура, тем меньше шаг), скорости заливки (чем выше скорость, тем может быть больше шаг), прочности смеси (чем выше прочность, тем больше шаг) и т.д.

Риски, образующие сетку, наносят на поверхность крупных форм вручную, а при массовом производстве они выполняются на модели.

На рис. 7.2.5 представлен фрагмент отливки «Плита» с ужиной на обширной плоской поверхности. При нанесении на модель отливки противоужимных рисков, не препятствующих ее служебным свойствам, дефект не проявлялся.

§6. Упрочняющее покрытие формы

Для предотвращения ужимин широко применяют поверхностное упрочнение сырых форм путем обрызгивания их раствором связующих веществ, в ряде случаев с небольшим

добавлением противопригарных наполнителей. Такие упрочняющие растворы проникают в форму на значительную глубину и в некоторых случаях настолько укрепляют поверхность формы, что позволяют отказаться от облицовочных смесей и других приемов снижения ужимин. Если раствор укрепляет только корку и не проникает в подкорковый слой на достаточную глубину, то он не способствует сокращению ужимин. По этой причине густые, слабопроникающие растворы не дают положительных результатов. При высокой температуре заливаемого металла в состав упрочняющих растворов рекомендуется добавлять остатки на «тазике» циркона и других огнеупорных материалов [46].

Для предотвращения ужимин рекомендуется применять светлые краски. Светлая окрашенная поверхность отражает тепловой поток, предохраняет форму от быстрого нагрева и тем самым увеличивает критическое время образования ужимин в 2–3 раза по сравнению с темным цветом поверхности. Поэтому темные поверхности быстрее нагреваются и разрушаются, чем светлые.

Для предупреждения образования ужимин используют нанесение на сырую поверхность формы сухих противопригарных покрытий. И в этом случае (припыливание толстым слоем пылевидного кварца) светлый цвет припыла значительно снижает склонность смесей к образованию ужимин (в 2 раза по сравнению с исходной поверхностью формы).

На рис. 7.2.6 представлена отливка «Коллектор» с дефектом «Ужимина» на плоском участке поверхности. Дефект образовался в результате повышенной твердости формы. При контакте с металлом под твердой коркой смеси сформировалась зона конденсации влаги и образовалась ужимина. Дефект отливки ликвидирован местным упрочнением поверхности формы раствором связующих с легколетучим растворителем.

§7. Подвод металла

Проектирование литниковой системы является важным этапом технологического процесса и оказывает значительное влияние на качество и свойства получаемых отливок. Выбором подвода металла и регулированием его потоков при заполнении формы можно создавать необходимый режим охлаждения отливки, быстрое заполнение плоских поверхностей.

Литниковая система должна отвечать следующим требованиям:

- заполнять форму металлом за время, достаточное для покрытия чугуном развитых горизонтальных поверхностей;
- при заливке металла питатели должны располагаться так, чтобы струя не ударяла в стенку формы или стержня, а растекалась по направлению стенки;
- уровень металла в форме в процессе заливки не должен иметь продолжительных остановок;
- части стержней, в которых расположены вентиляционные каналы, не должны перегреваться потоком проводимого металла.

Определение времени заполнения формы является наиболее важной частью расчета литниковой системы, так как оно в наибольшей степени влияет на возникновение ужимин. Продолжительное заполнение вызывает появление в отливках ужимин в результате длительного теплового воздействия расплава на горизонтальные поверхности. Следовательно, для снижения опасности возникновения ужимин необходима ускоренная заливка формы металлом. Желательно при разработке литниковой системы использовать большее количество питателей для ускоренного заполнения горизонтальных поверхностей, подверженных ужиминам.

На рис. 7.2.1 (стр. 234) представлена отливка «Балансир» с дефектом «Ужимина» на плоской поверхности. Для ликвидации дефекта можно использовать один из предложенных вариантов:

- изменить место подвода металла и увеличить скорость заливки;
- применить упрочняющее покрытие на верхней полуформе;
- использовать облицовочную смесь на месте образования ужимин и т.д.

§8. Время простоя собранных форм

При выдержке собранных форм со стержнями на конвейере более 30 минут происходит увлажнение стержней, начиная от знаков и на всю окрашенную поверхность. Процессу переноса влаги на стержень сопутствует повышенная гигроскопичность краски. В результате образуются участки формы и стержня со значительным переувлажнением. При заливке переувлажненной формы жидким металлом происходит интенсивное проникновение влаги вглубь формы или стержня с образованием переувлажненного слоя. В этот момент образуется реальная возможность получения ужимин по переувлажненному слою. Следовательно, выдержка собранных форм более 30 мин может привести к браку по ужиминам (см. 7.1. §5).

Длительный выстой собранных форм отливки «Корпус вала» (рис. 7.2.7а, б, в) привел к увлажнению поверхности стержня. В процессе заливки металла на поверхности стержня образовалась ужимина. Ликвидации ужимин способствовало снижение времени выстоя собранных форм (не более 30 мин).

§9. Использование подсушенных форм

Использование подсушенных и особенно сухих литейных форм значительно снижает, а в ряде случаев и полностью ликвидирует возможность образования ужимин. Это вызвано, в первую очередь, низким содержанием влаги, которая и является первопричиной образования ужимин. Использование форм из термостойких смесей позволяет практически полностью ликвидировать ужимины.

Ужимины образуются также вследствие теплового и механического воздействия струи жидкого расплава на отдельные участки формы в период её заполнения. В этом случае поверхностные слои формы могут отслаиваться, а затем под действием удара струи металла разрушаться. Ниже приведены значения по критическому периоду образования ужимин при воздействии струи заливаемой стали марки 35Л. За единицу принято критическое время формы из сырой песчано-глинистой смеси [32]:

Смесь	Песчано-глинистая, сырая	Песчано-глинистая, плохо просушенная	Песчано-глинистая, сухая	Жидкостекольная	Из хромистого железняка	Песчано-глинистая, сухая, выдержанная перед заливкой 20 ч	Песчано-глинистая, хорошо высушенная	Из хромистого железняка, пропущенная гвоздями
Критический период	1	3	4	6	7	12	18	19



Рис. 7.2.7а. Отливка «Корпус вала» с ужиминами



Рис. 7.2.7б. Фрагмент отливки с дефектом (увеличено)



Рис. 7.2.8. Отливка «Фланец» с ужиной

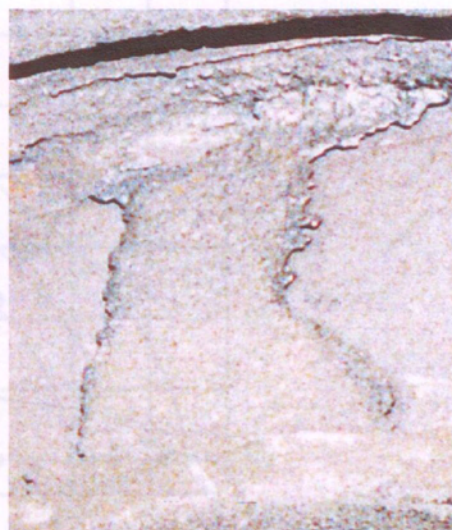


Рис. 7.2.7в. Фрагмент отливки с дефектом (увеличено)

На рис. 7.2.8 представлена отливка «Фланец» с дефектом «Ужины». Дефект образовался в результате теплового и механического воздействия струи жидкого металла на верхнюю часть формы. Для ликвидации дефекта верхняя полуформа проходила операцию подсушки с последующей кратковременной выдержкой на воздухе.

§10. Толщина корки затвердевшей стали

Быстрое формирование корки затвердевшего металла, в большинстве случаев, оказывает влияние на снижение возможности образования ужимин. В то же время медленное образование корки металла способствует появлению ужимин. Ознакомиться с условиями формирования корки металла при его движении в форме можно в 1.7. §12.

§11. Заполняемость форм металлом

Заполняемость формы является важным моментом при ликвидации ряда дефектов отливки. Заполняемость повышается при увеличении сечения стояка и литникового хода

и уменьшения их длины, так как это позволяет сохранить более высокую температуру металла при его поступлении в форму. Увеличение скорости заполнения (без разрушения формы) увеличивает заполняемость (см. 6.1. §10).

§12. Влияние продолжительности течения металла и влажности формы на отслаивание

Влияние течения металла на отслаивание

При определенных условиях поверхностная часть стенки формы может отслаиваться до образования на поверхности металла твердой корки с последующим образованием ужимины [25].

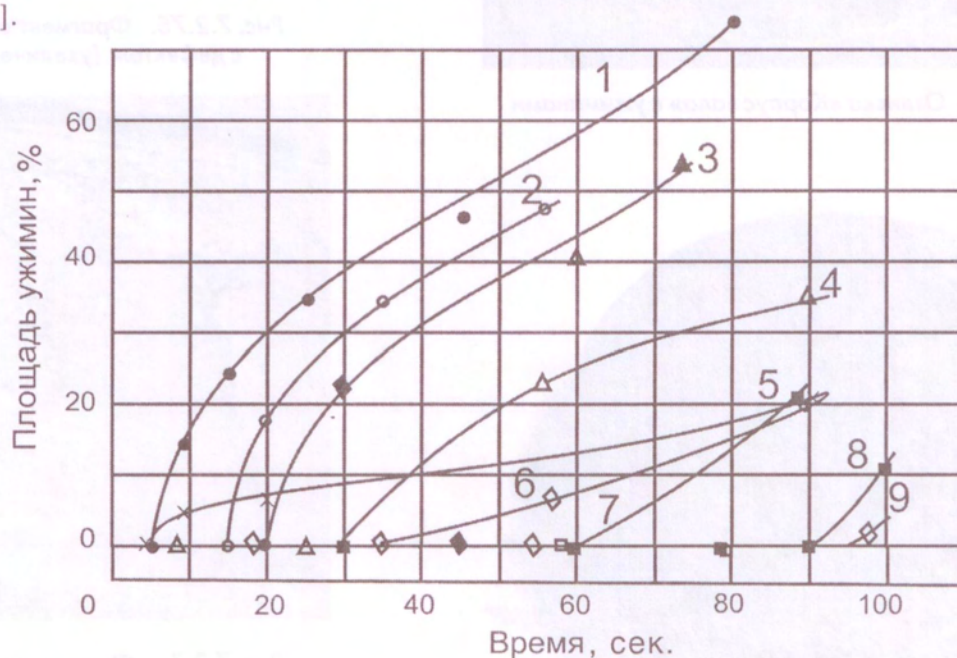


Рис 7.2.9. Зависимость площади ужимины от времени воздействия струи жидкого металла на стенку формы, изготовленной из различных формовочных смесей:

- 1 — песчано-глинистая сырая; 2 — песчано-глинистая, не полностью просушенная;
- 3 — песчано-глинистая сухая (глина средней прочности); 4 — жидкостекольная;
- 5 — песчано-глинистая, с прошивкой гвоздями; 6 — из хромистого железняка;
- 7 — песчано-глинистая сухая, с выдержкой стержней в форме в течение 20 часов;
- 8 — песчано-глинистая, хорошо высушенная; 9 — из хромистого железняка, с прошивкой гвоздями

На рис. 7.2.9 представлены зависимость площади, занятой ужиминами на поверхности отливки, от времени воздействия струи для различных формовочных смесей [46]. Для каждой формовочной смеси существует определенное критическое время воздействия струи на поверхность формы, когда ужимина не будет образовываться. Наименьшей стойкостью обладает сырая песчано-глинистая смесь (кривая 1). При ее прошивке гвоздями развитие ужимин резко уменьшается, хотя они и не устраняются (кривая 5). Сухие песчано-глинистые смеси обладают существенно большей устойчивостью против ужимин, чем сырые, однако большое значение имеет их качество. Сокращение времени сушки с 2 часов (кривая 8) до 1 часа (кривая 2) резко снижает стойкость против ужимин. Стержни из сухой песчано-глинистой смеси с заведомо неравномерным уплотнением, колеблющимся по твердости от 40 до 80 ед., показали одинаковую стойкость к образованию ужимин. Применение жидкостекольной смеси (кривая 4) повышает устойчивость формы по сравнению с сырой

песчано-глинистой смесью, но она значительно ниже стойкости качественной сухой формы. Смесь, изготовленная на хромистом железняке (кривая 9), обеспечивает наибольшую устойчивость против образования ужимин. При длительном воздействии струи металла на поверхность стержня из песчано-масляной или опилочной смеси происходит выгорание органических добавок, в результате образуется размыв смеси с образованием пригара.

Влияние влажности на отслаивание

Нагрев поверхностного слоя формовочной смеси вызывает миграцию влаги как испаряющейся, так и кристаллизационной, выделяющейся до высокой температуры. Ввиду большого температурного градиента в форме, влага получает возможность конденсироваться сравнительно близко от поверхности.

Связь между общей влажностью формовочной смеси и склонностью к образованию ужимин представлена на рис. 7.2.10. Чем выше общее содержание влаги, тем интенсивнее развивается отслаивание. Чем дольше воздействие теплоты на поверхности формы, тем на большую глубину она прогревается и тем больше толщина отслаивающейся корки.

Следовательно, первопричиной отслаивания являются возникающие в формовочной смеси температурные напряжения, а миграция и последующая конденсация влаги создают зону наименьшей прочности, по которой происходит отслаивание смеси с образованием ужимин.



Рис. 7.2.10. Зависимость времени образования ужимин от суммарного содержания влаги в формовочной смеси

Глава 7.3. Складчатость

Описание дефекта

Дефектом «Складчатость» называются беспорядочно расположенные «сморщенные» участки, складки и углубления с бесформенными краями на поверхности чугунных отливок. Наиболее часто эти дефекты образуются около питателей отливок. Возникновению рассматриваемого дефекта способствует молотый уголь, добавляемый в формовочную смесь для улучшения чистоты поверхности отливок. На практике этот дефект возникает редко.



Рис. 7.3.1. Отливка «Крышка» с дефектом «Складчатость»

Механизм формирования складчатости

Угли всех типов в процессе прогрева формы расплавом без доступа воздуха непрерывно разлагаются. При высоких температурах в форме возможен процесс разложения углеводородов на углерод и водород. Углерод называют вторичным или блестящим. Он имеет низкую горючую способность и прочно сцепляется с инертными веществами.

Блестящий углерод покрывает тонким слоем кварцевые зерна и может оседать на поверхности заполняющего форму расплава. Недостаточная газопроницаемость формы препятствует отводу продуктов разложения органических веществ из формы. В результате, количество блестящего углерода на поверхности металла увеличивается. При большом скоплении блестящего углерода у шероховатостей формы, его пленки сминаются потоком металла и деформируются. Скопившиеся образования блестящего углерода и формируют дефект «Складчатость». Сильные потоки металла могут привести к вовлечению пленок блестящего углерода внутрь отливки и нарушить ее герметичность.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Содержание в смеси углеродосодержащих добавок

Для получения чугуновых отливок с чистой поверхностью при формовке по-сырому в смеси добавляют легко газифицирующиеся углеродосодержащие вещества. Распространенной добавкой является молотый каменный уголь марки Г, Д или ПЖ. Каменноугольная пыль для формовочных смесей должна иметь высокое содержание летучих (не менее 25%), низкое содержание серы (менее 1%) и выход «блестящего» углерода не менее 7–10% (см. 7.1. §1).

§2. Газопроницаемость формы

Недостаточная газопроницаемость формы препятствует отводу продуктов разложения углеродосодержащих веществ из формы. В результате этого возможно образование складчатости. Газопроницаемость формовочных материалов и смесей зависит от их зерновой структуры, влажности и содержания глинистой составляющей, степени уплотнения.

Чем крупнее зерна песка, тем больше промежутки между ними. При одинаковом объеме промежутков (при одинаковой пористости), пропускная способность материала с крупными зернами больше, чем у зерен с мелкими промежутками между ними. С увеличением зерен песка газопроницаемость увеличивается.

Чем однороднее зерна, тем хуже уплотняемость смеси, тем больше пористость и тем выше газопроницаемость.

Угловатые зерна труднее уплотняются, следовательно, угловатость как бы улучшает газопроницаемость. Однако угловатые зерна имеют более шероховатую поверхность, что увеличивает трение газа о стенки пор. Этим объясняется то, что угловатые зерна иногда ухудшают газопроницаемость. При увеличении влажности уменьшаются размеры промежутков между зернами, потому что часть их занимает вода. При увеличении влажности смеси с 2,5 до 4,5% газопроницаемость резко возрастает (на испытуемой смеси с 30 до 92 ед.), а затем при увеличении влажности с 4,5 до 7% также резко падает (до 44 ед.). Величина оптимальной влажности тем больше, чем больше в смеси мелких зерен (и пыли) и чем больше содержание глины, так как мелкие зерна пыли и глина имеют гораздо большую поверхность смачивания.

При увеличении содержания глины в смеси газопроницаемость непрерывно падает. Чем больше газотворная способность и влажность, тем больше газов и паров выделяет смесь при прогреве и тем выше должна быть газопроницаемость смеси. Поэтому, при оценке того, достаточна ли газопроницаемость, следует брать не абсолютную величину газопроницаемости, а относить ее к единице газотворности смеси с учетом ее влажности.

Кроме этого, газопроницаемость смеси связана с толщиной стенки отливки, от которой зависит глубина прогрева литейной формы в первые 15 секунд контакта с металлом и процессы газообразования в ней (сгорание связующих, парообразование и др.). Степень уплотнения формы также оказывает значительное влияние на величину газопроницаемости.

Повысить газопроницаемость формы можно следующим образом:

- использовать более крупные пески с однородностью по размерам;
- снизить влажность смеси до 4%;
- вместо глины использовать бентонитовую активированную суспензию, содержание которой при равной прочности смеси будет меньше, чем глины;
- понизить газотворную способность смеси;
- удалять из смеси неактивную глину, мелкие и пылевые частицы;
- повышенное уплотнение формы компенсировать увеличенными вентиляционными наколами.

Рекомендуемые допустимые величины газопроницаемости формовочных смесей:

- вес отливки до 1 кг — 40 ед.;
- вес отливки до 20 кг — 40–80 ед.;
- вес отливки до 2 тонн — 80–120 ед.

§3. Вентиляционные наколы

Вентиляционные наколы в форме значительно сокращают длину пути фильтрации газа, дают возможность удаления продуктов газификации углеродосодержащих добавок и осуществляют снижение давления газа в форме. В первоначальный момент заполнения формы металлом возникает обильное выделение газа от газификации углеродосодержащих добавок. Если давление газа превысит 1000 Н/м^2 (10 г/см^2), то возникает реальная опасность увеличения углеродистых образований и появления складчатости. В этот момент в форме должны работать вентиляционные каналы из стержней и формы и удалять излишние газы. Значительную роль в этом играют вентиляционные наколы верхней полуформы, которая заполняется металлом в последнюю очередь (см. 1.1. §4).

§4. Скорость заливки формы

Для получения качественного литья очень важными являются температура заливаемого чугуна и весовая скорость заливки. Это продиктовано конструкцией отливок и технологией их изготовления. Вводимые в состав смесей углеродосодержащие добавки при заливке металлом способствуют образованию блестящего углерода. При избытке углеродистых добавок в смеси количество продуктов коксования увеличивается и блестящий углерод выделяется в больших количествах на поверхности заливаемого чугуна, скапливается у шероховатостей формы, где его пленки сминаются потоком металла и деформируются. При быстром заполнении формы металлом образовавшиеся скопления углерода не успевают рассредоточиться и на поверхности отливки возникает складчатость. Повышение температуры металла способствует не только интенсивному образованию блестящего углерода, но и его окислению, т.е. понижению общего содержания блестящего углерода. Следовательно, повышение температуры заливаемого металла до 1390°C и снижение ско-

рости его заливки (по расчету в рамках рассматриваемого дефекта) способствуют снижению возможности образования складчатости.

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

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

§5. Температура заливаемого чугуна

Фактором, влияющим на снижение дефекта «Складчатость» является температура. Повышение температуры заливаемого чугуна снижает вероятность образования блестящего углерода, который в избыточном количестве образует сминающиеся потоком металла пленки. Аналогичное влияние оказывает уменьшение длительности заливки чугуна в формы. Для ликвидации рассматриваемого дефекта рекомендуется использование чугуна с температурой 1380°C и пониженным временем заливки металла в форму.

§6. Вентиляция формы и стержней

При заливке металла начинается интенсивная газификация горючих составляющих формы и стержня. При наличии в смеси углеродосодержащих добавок, например, молотого каменного угля, битумной суспензии, мазута, кокса и других, они могут разлагаться с образованием блестящего углерода, способствующего образованию дефекта «Складчатость». В форме и стержне создается избыточное давление газа, который должен выходить через выпоры, наколы на верхней полуформе и газоотводы из стержней и формы. Задача газоотводящих каналов состоит в том, чтобы они обеспечили удаление из формы продуктов разложения углеродосодержащих добавок и выполнили снижение давления газа в форме. При этом давление металлостатического напора будет больше суммарного давления газа от стержня и формы и газ не пойдет в металл (см. 1.2. §9).

Глава 7.4. Окисные пленки на стальных отливках

Описание дефекта

Описание формы и способов выявления

Окисные пленки — темные макровключения тончайших, рассредоточенных, с различной ориентацией пленок в виде надрезов неправильной геометрической формы, нарушающих сплошность стали. Не всегда выявляются при внешнем осмотре отливок. Хорошо видны на макротемплетах, после механической обработки и в изломе, проходящем по их поверхности. Часто вызывают образование пороков типа неспаев, недоливов, рубцов на внешней поверхности отливок, изготавливаемых преимущественно из высоколегированной стали.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Температура заливаемой стали

Все малоуглеродистые сплавы, высоколегированные хромом, титаном, кремнием, алюминием и другими элементами, склонны к интенсивному пленообразованию. Плена, образующаяся на открытой поверхности сплавов в жидком состоянии, значительно сокращает их текучесть и является причиной образования ряда дефектов, в том числе и неровной поверхности отливки (окисная пленка).

Процесс образования окисной пленки тесно связан с температурой жидкой стали. Чем меньше температура стали и больше кислорода, тем интенсивнее идет пленообразование. Чем выше температура пленообразования, тем менее технологичен сплав и требуется более высокий перегрев. Это влечет за собой образование пригара и горячих трещин. Окислительные процессы продолжаются и во время заливки стали из ковша и при поступлении в полость формы.

При увеличении температуры заливаемого металла пленки не образуются. В.Г. Грузин [22] установил, что пленки в отливках из жаропрочной стали почти исчезают, если в форму заливается металл с температурой выше 1560°C. Пригар поверхности отливок составляет минимум, если температура металла в процессе заливки была в интервале 1560–1580°C.

§2. Выдержка стали в ковше перед заливкой

Пленки образуются в результате окисления элементов, содержащихся в высоколегированной стали и обладающих большим сродством к кислороду. Окисление таких элементов, как хром, алюминий, титан, образующихся в виде плотных тугоплавких взвесей, являются основными составляющими пленки.

После обработки расплава стали комплексными раскислителями в плавильном агрегате и завершения цикла подготовки расплава, его сливают в предварительно нагретый разливочный ковш. Вместе с металлом в ковш попадает шлак, размешанные в металле неметаллические включения и пузырьки газа.

В процессе выстоя стали в ковше происходит всплывание частиц шлака, других мелких неметаллических включений и газовых пузырьков. Этот процесс идет в ускоренном режиме, поскольку для снижения пленообразования металл должен выпускаться из плавильного агрегата с достаточным перегревом [49].

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

- в конических ковшах емкостью до 100 кг на 30–60°C в минуту;
- в конических ковшах емкостью 250–400 кг на 18–40°C в минуту;
- в конических ковшах емкостью 630–1000 кг на 15–20°C в минуту;
- в конических ковшах емкостью 1–5 тонн на 5–12°C в минуту.

Конические ковши теряют температуру металла примерно в 2 раза быстрее, чем барабанные, за счет теплоизлучения с зеркала металла. Для уменьшения тепловых потерь рекомендуется применять ковши с теплоизоляцией.

§3. Время заливки стали

Время заливки зависит от размеров и особенностей конструкции отливки, литейных свойств определенной стали, теплоаккумулирующих свойств материала формы и др. Высоколегированные хромистые и хромоникелевые стали различных марок обладают достаточной жидкотекучестью, что связано с более низкими значениями у легированных сталей температуры солидуса (на 50–20°C) и ликвидуса (на 70–30°C) по сравнению с углеродистыми сталями.

Однако, несмотря на хорошую жидкотекучесть, формы необходимо заливать сталью с большим перегревом и быстро. Увеличение температуры и скорости заливки вызвано склонностью сталей этой группы к пленообразованию. Чтобы предупредить получение плен и включений в отливках со средней толщиной стенок, сталь разливают быстро при 1580–1600°C.

§4. Сифонный подвод стали

Плены образуются в результате окисления элементов (хром, титан, алюминий и др.), содержащихся в стали и обладающих большим сродством к кислороду. Окисление указанных элементов начинается еще в процессе выплавки стали. Поэтому жидкая сталь, поступившая на участки заливки форм, может содержать во взвешенном состоянии пленки окислов, если соответствующими методами раскисления и выдержки перед заливкой не будет обеспечено удаление их в шлак.

При разработке конструкции литниковой системы необходимо учитывать, что металл должен иметь наименьший контакт с кислородом при заливке формы и её заполнении. Металл необходимо подводить к форме и заполнять её наиболее короткими путями, что следует из необходимости снижения времени окисления стали, как в потоке, так и в наиболее отдаленных участках отливки.

Наиболее эффективным способом заполнения формы сталью, склонной к пленообразованию, считается подача первых порций металла сифоном, последующих — под затопленный уровень, а верхние прибыли заливать в конце через питатели верхнего уровня. При этом конструкция литниковой системы должна обеспечивать четкую направленность затвердения отливки. Различные местные утолщения следует не разогревать подводом к ним специальных питателей, а охлаждать местными холодильниками. Прибыли необходимо заполнять горячим металлом, подводимым наиболее короткими путями, или использовать разогрев прибылей термитными вкладышами. Нельзя допускать заполнения через питатели низшего горизонта всего объема отливки или доливать через них прибыли крупных отливок в конце заливки, в процессе усадки и кристаллизации отливки.

§5. Направление потоков стали в полость формы

Образование окисных плен наиболее характерно для высоколегированных специальных сталей, однако они могут возникнуть даже в обычных сплавах на основе железа, содержащих наибольшее количество легирующих элементов, например, более 0,15% алюминия или 0,5% хрома. Склонность стали к образованию плен увеличивается при её многократном перегреве без наведения шлака. Если сталь перед этим раскисляли силикокальцием, то склонность её к пленообразованию не изменяется.

При проектировании литниковых систем для отливок, склонных к образованию плен, должно быть предусмотрено спокойное заполнение формы расплавом, возможность выноса окисных пленок в прибыли, грязесборники и подвод расплава только снизу. Нижние литниковые системы используются для литья легкоокисляющихся сплавов. Они обеспечивают одностороннее направление потоков стали в полость формы и постепенное заполнение формы без открытой падающей струи, без образования встречных потоков металла.

Для более высоких, массивных и сложных отливок используются ярусные литниковые системы, позволяющие осуществлять спокойное одностороннее направление потоков металла: вначале в низший уровень, а затем в вышележащие, с последующим удалением неметаллических включений и окисных плен в прибыли.

При производстве тонкостенных отливок больших горизонтальных габаритов хорошие результаты получаются при нижнем подводе металла и тангенциальной заливке, обеспечивающей перемещение потоков металла в горизонтальном направлении.

§6. Прибыли прямого питания

При формировании качественной отливки необходимо соблюдение условий направленного затвердевания металла. Это вызвано, в первую очередь, возможностью подпитки нижележащих слоев металла вышележащими. Кроме того, создаются условия для всплытия неметаллических включений, в том числе и окисных плен, образованных в результате окисления поверхности высоколегированных хромистых сталей.

Эффективным в данном случае является использование открытых прибылей, позволяющих более свободное всплытие плен. При этом целесообразно применение сифонной заливки, исключающей дополнительное окисление стали при заполнении формы в сравнении с другими способами подвода металла (верхнее, боковое и т. д.).

Для реализации такой заливки применяют ярусную систему с подачей в верхнюю часть формы горячего металла через дополнительные литники.

Для повышения температуры металла в прибыли, успешного завершения процессов всплытия окисных плен и подпитки усадки, используют обогреваемые прибыли за счет установки вкладышей из термитных смесей. Смесь при сгорании не должна влиять на химсостав стали, давать ровное течение экзотермической реакции, образовывать легко всплывающий пористый шлак, изолирующий прибыль сверху. Помимо использования готовых термических брикетов, наиболее пригодными является смесь из 3 весовых частей алюминиево-железного термита и 1 в.ч. портланд-цемента марки 400 с 10–15% воды (на сухую массу).

§7. Восстановительная атмосфера в форме

При заливке в формы высоколегированных сталей (с содержанием хрома или хрома и никеля) возможно образование на поверхности расплава окисной пленки. Происходит это при контакте кислорода в форме с активными элементами заливаемого сплава, в частности, с хромом и др. В результате происходит окисление хрома с образованием окис-

ной пленки на поверхности металла. Образовавшаяся плена цепляется за стенки формы и стержней, разрывается, разворачивается и заливается слоями поступающего сплава. От этого отливка получается с дефектами «плена», «неспай» и «волнистость».

При наличии в форме восстановительной атмосферы, создаваемой оксидом углерода (CO) и метаном, на поверхности расплава стали будет значительно заторможено образование окисных плен.

Для создания в форме восстановительной атмосферы на сухие или подсушиваемые формы наносится каменноугольный лак. Лак лучше всего наносить на поверхность при температуре 70–120°C, так как при этом он равномерно распределяется и проникает на глубину до 1,5 мм. При использовании смесей по-сырому для создания восстановительной атмосферы, в состав формовочной смеси вводят мазут, бентонито-угольную суспензию, уголь и другие компоненты. Наиболее предпочтительным и широко распространенным является мазут.

Отметим, что атмосфера формы, образованная термодеструкцией синтетических смол (выгорание связующего в стержнях), используемых в качестве связующих материалов, имеет восстановительную атмосферу, т.е. будет происходить снижение образования окисных плен.

При заливке металла в жидкостекольные формы образуется окислительная атмосфера, создающая неблагоприятные условия и способствующая окислению расплава металла.

§8. Комплексное раскисление стали

Раскисление стали (освобождение металла от кислорода) состоит из двух операций:

- первая предусматривает перевод кислорода закиси железа в продукты реакций раскисления;
- вторая — перевод дисперсных оксидов в более крупные агрегаты и переход их в шлак.

Хорошо раскисленная сталь содержит остатки окислов железа, которые растворены в металле, а часть их входит в двойные, тройные и более сложные оксиды.

Чем сложнее оксид, тем температура его плавления ниже, и, следовательно, в жидкой перегретой стали он находится в жидком состоянии в форме шаровидных капелек. По этой причине удаление оксидов основывается на внесении в жидкую сталь не одного, а нескольких элементов раскислителей одновременно. Такое раскисление называется комплексным.

Хорошими комплексными раскислителями являются силикомарганец, силикокальций, сплав АМЦ (алюминий, марганец, кремний), позволяющие получить наиболее чистый металл от неметаллических включений. Продукты раскисления всплывают в шлак, либо удаляются в виде газа (оксид углерода) в течение 15–20 минут. Окончательное перемешивание и довершение процесса рафинирования происходит при выпуске металла в ковш и при выдержке стали в ковше в течение 10 минут. Увеличение времени выдержки в ковше приведет к потере температуры расплава, что при заливке формы приведет к увеличению образования окисной плены.

§9. Склонность стали к пленообразованию

Все малоуглеродистые стали, легированные хромом, титаном, кремнием, алюминием и другими элементами, склонны к интенсивному пленообразованию. Процесс образования окисной пленки тесно связан с температурой жидкой стали. Температура начала пленообразования является критерием технологичности легированного сплава и определяет склонность стали к пленообразованию [22].

Решающее влияние на склонность стали к пленообразованию оказывает её химический состав. На рис. 7.4.1 приведена зависимость влияния легирования малоуглеродистой стали на склонность к пленообразованию. Очевидно это влияние в большей мере зависит от сродства компонентов с кислородом. Кроме этого, возможна зависимость склонности к пленообразованию от сочетания компонентов.

Наибольшее воздействие на склонность стали к пленообразованию оказывают элементы в следующем порядке убывания: алюминий, титан, хром, кремний. Их окислы резко увеличивают вязкость поверхностного слоя стали, в результате чего на отливках появляются плены, спай, бугристость, недоливы и неспай.

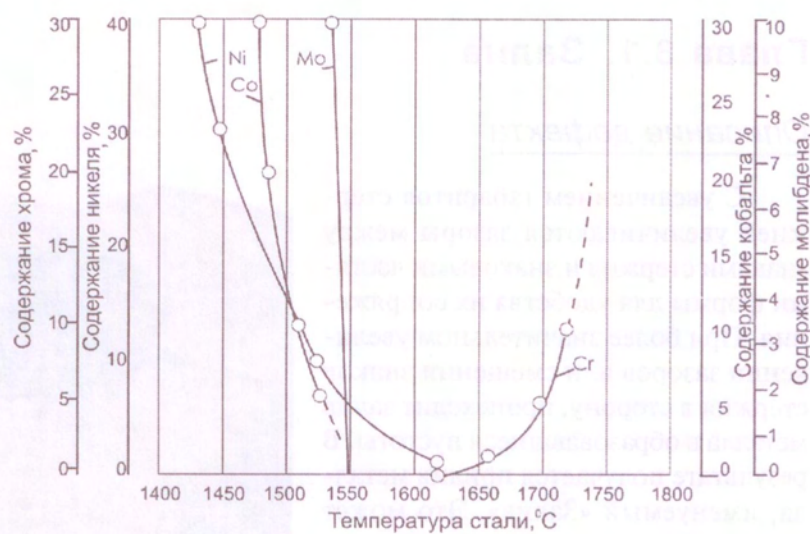


Рис. 7.4.1. Склонность к пленообразованию малоуглеродистой стали в зависимости от легирования

Раздел 8. Приливы

Глава 8.1. Залив

Описание дефекта

С увеличением габаритов стержней увеличиваются зазоры между знаками стержня и знаковыми частями формы для удобства их сопряжения. При более значительном увеличении зазоров или смещении знаков стержня в сторону, происходит залив металла в образовавшиеся пустоты. В результате получается прилив металла, именуемый «Залив». Это может произойти также в результате:

- деформации стержня после его изготовления с отверждением в сушиле;
- при изготовлении сырых форм методом прессования возможен прогиб формовочной смеси с максимумом в центральной части;
- коробление подмодельных плит, опок, загрязнение втулок, штырей и лада опок может вызывать образование заливов;
- подъем верхней полуформы заливаемым металлом.

Ликвидации дефектов способствует:

- систематическая проверка состояния опок, моделей и стержневых ящиков. С целью предупреждения короблений и деформаций опок следует обеспечить их плавное, без толчков, перемещение при транспортировке и сборке;
- использование процессов изготовления стержней с отверждением в оснастке, что предотвратит деформацию стержней в сыром состоянии и тем самым уменьшит или ликвидирует залив. Если процесс отверждения в оснастке невозможен, то при проектировании модельной оснастки следует учитывать искажения размеров знаков форм и стержней в процессе изготовления, сушки и транспортировки;
- верхняя и нижняя полуформы должны быть плотно скреплены между собой или на верхнюю опоку должен быть положен соответствующий груз;
- для предотвращения упругой деформации смеси при прессовании под высоким давлением следует увеличить ее пластичность путем введения специальных добавок. Можно также уменьшать давление прессования или применять многопрофильные или многоплунжерные прессовые колодки;
- на горизонтальных поверхностях формы и ее знаковых частях при формовке по-сырому следует выполнять обжимные пояски.

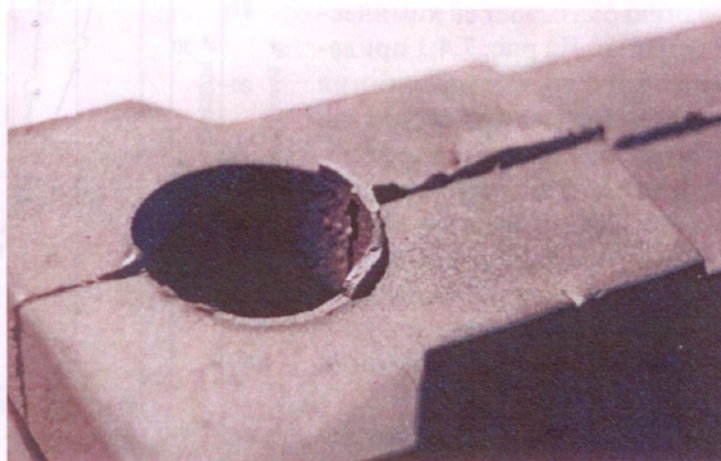


Рис. 8.1.1. Отливка «Опора» с дефектом «Залив»

Причины возникновения и способы ликвидации дефекта

§1. Зазоры и уклоны между знаковыми частями

Для облегчения установки стержней в форму и ликвидации смещения делают уклоны с зазорами между сопрягаемыми стенками формы и стержня, величина которых зависит от способа формовки, высоты стенки и материала модели [52].



Рис. 8.1.2. Отливка «Корпус вентиля» с заливками в зазоры между знаками формы и стержня

В 5.4. § 3 приведены величины уклонов нижних и верхних знаков моделей и стержневых ящиков, необходимые для правильной установки стержней в форму и накрытия верхней полуформой. При изготовлении или после ремонта оснастки необходимо проверить знаки на смятие опорной поверхности с учетом силы давления заливаемого металла (всплытия). Допустимая сила смятия сырых форм равна $\approx 0,25 \text{ кг/см}^2$. Также приводятся зазоры между знаком формы и стержня, схемы уклонов и зазоров, таблицы и другие поясняющие материалы.

Значительные зазоры в знаковых частях стержней приводят к их всплытию в форме и заливке знаков. На рис. 8.1.2 представлена отливка «Корпус вентиля» с залитыми стержневыми знаками в нижней части. Вероятно, это результат излишней притирки разъема стержней перед их склейкой. Кроме «Залива» отливка имеет «Недолив», что явилось просчетом при заполнении ковша металлом.

Увеличенные зазоры в знаковых частях стержней и формы отливки «Корпус» из кислотостойкой стали (рис. 8.1.3а, б) привели к возникновению значительных заливов по всему периметру. Помимо изменения конструкции отливки, повысилась трудоемкость обрубко-очистных операций. Переработка знаковых и спаривающих частей оснастки ликвидировала массовые заливки.



Рис. 8.1.4. Отливка «Корпус насоса» с заливом металла по разъему стержней



Рис. 8.1.3а. Отливка «Корпус» с заливками в спаривающихся частях стержней и формы



Рис. 8.1.3б. Фрагмент отливки (увеличено)

§2. Деформация стержня при изготовлении

В последнее время большинство заводов по соображениям экономии перешло на изготовление стержней из песчано-«масляных» смесей, отверждаемых в тепловых сушилах.

Для увеличения прочности в них устанавливают металлическую арматуру. Изготовленные стержни укладывают на плиты или драйеры и отправляют на тележках или транспортерах в сушилы. В это время возможна их деформация от встрясок.

Неточность размеров стержня получается вследствие того, что:

- глубина ящика, а также (в меньшей степени) и другие размеры с течением времени изменяются, так как плоскость разъема и полость ящика постепенно изнашиваются;
- сушильные плиты и драйеры коробятся;
- стержень, изготовленный из малопрочных до сушки смесей, под действием вибратора, как и от толчков во время передачи в сушило, может несколько осесть и получить неправильную высоту;
- объем стержня при сушке по-разному изменяется в разных направлениях.

Сушат стержни в 3 этапа. На первом этапе должен быть медленный нагрев с малой циркуляцией воздуха. При быстрой циркуляции воздуха возможно растрескивание стержней. Второй этап — быстрый подъем температуры до максимального уровня и выдержка для полного отверждения. Третий этап — медленное охлаждение до 50–70°C. Медленное охлаждение необходимо для предупреждения растрескивания поверхностных слоев и осыпания стержней. После сушки стержни проверяют шаблонами. Особое внимание уделяется состоянию знаков стержня. Они подвергаются контролю размеров по диаметру, высоте, ширине, на коробление и др. Трещины или швы от склеивания заделывают специальной смесью или пастой.

Для ликвидации заливов по знакам используют прогрессивные способы изготовления стержней с отверждением в оснастке.

На рис. 8.1.4 представлена отливка «Корпус насоса» с дефектом «Залив» со стороны разъема половинок стержней. В процессе тепловой сушки стержни могут иметь коробление, которое удаляют строжкой, промазкой, покраской. В данном случае к этим операциям отнеслись не очень внимательно, что привело к дефекту. Это сказалось на увеличении размеров отливки со стороны стержня.

§3. Прогиб смеси в изготовленных формах

Форма, уплотненная тем или иным способом, должна иметь достаточную плотность, обеспечивающую нужную прочность. В форме не должно быть как рыхлот, так и переуплотненных участков. Например, уплотнение прессованием не является идеальным, поскольку после снятия прессовой колодки, вследствие упругой деформации уплотненной смеси, лад полуформы может прогнуться. Максимальный прогиб полуформы наблюдается в средней ее части.

Для снижения упругой деформации изготовленной полуформы вместе с прессованием эффективно использовать вибрацию, позволяющую вызывать у смеси большую подвижность, а значит, и более равномерное уплотнение. Можно использовать более пластичную смесь с добавлением специальных добавок (пека, битума, злаковых добавок и др.). Равномерность уплотнения достигается применением многоплунжерных и профильных прессовых колодок.

При изготовлении форм встряхиванием применяют дополнительное упрочнение для предотвращения прогиба формы или выпадения смеси из опоки. Для этого:

- опоки изготавливаются с ребрами;
- на ребра опок вешают специальные крючки, смоченные глиняным раствором;
- изготовленные формы подвергаются поверхностной сушке.

Кроме этого, применяется специальная обработка поверхности формы связующими или используется облицовочная смесь.

При изготовлении формы отливки «Опора», представленной на рис. 8.1.1, средняя часть формы подверглась интенсивному уплотнению, а подмодельная плита не имела достаточную жесткость. В результате упругой деформации плиты произошел прогиб полуформы в средней ее части. При сборке формы и заливке ее металлом получился залив металла в образовавшиеся пустоты с получением дефекта.

§4. Коробление оснастки, загрязнение втулок, штырей, лада опок

Требования к модельной оснастке для предотвращения коробления:

- подмодельные плиты и рамки изготавливаются из стали марок от 15Л до 45Л или чугуна марок СЧ15 и СЧ20, небольшие подмодельные плиты могут изготавливаться из вторичного алюминия марки А13;
- все подмодельные плиты изготавливаются с ребрами жесткости, выполненными на нижней опорной части; толщина ребер жесткости равняется 0,6–0,7 толщины стенки плиты;
- все стальные плиты отжигаются; чугунные и алюминиевые подвергаются искусственному старению;
- допускается заварка дефектов, не влияющих на прочность плит.

Возможные причины возникновения заливов:

- изношенные трущиеся поверхности модельной оснастки приводят к образованию зазора между спариваемыми опоками верха и низа;
- деформированная или искривленная поверхность подмодельной плиты (поверхность разъема модели) создает в некоторых местах контакт опоки с опокой, а в других местах смеси со смесью;
- использование дефектных штырей и втулок, влекущих неправильную посадку опок верха и низа (недосаживание опоки);
- неочищенная подопочная плита (наличие заливов металла, смеси и др.) создает условия проседания нижней опоки.

Отливка «Поперечина» (рис. 8.1.5) имеет залив по линии разъема. При этом увеличение толщины залива шло в сторону соединения опок на штырь. Дефект возник в результате загрязнения втулок и штырей, что не позволило произвести плотное спаривание опок.

§5. Загрузка и крепление полуформ

Для ликвидации подъема металлом верхней полуформы на нее устанавливается груз или она скрепляется с нижней опокой [1, 4].

Давление жидкого металла на верхнюю опоку определяется по формуле:

$$P = F \cdot H \cdot J_m + V \cdot J_m - V \cdot J_{ст},$$

где:

- P — подъемная сила, т;
- F — площадь горизонтальной проекции верхней поверхности полости формы, m^2 ;
- H — гидростатический напор металла равный расстоянию от поверхности приложения давления до уровня литниковой чаши, м;
- J_m — удельный вес жидкого металла;
- V — объем стержней, m^3 ;
- $J_{ст}$ — удельный вес стержней.

Практически, вес груза, устанавливаемого на форму, берется в 1,3–1,5 раза больше расчетного для компенсации гидравлического удара в конце заливки.

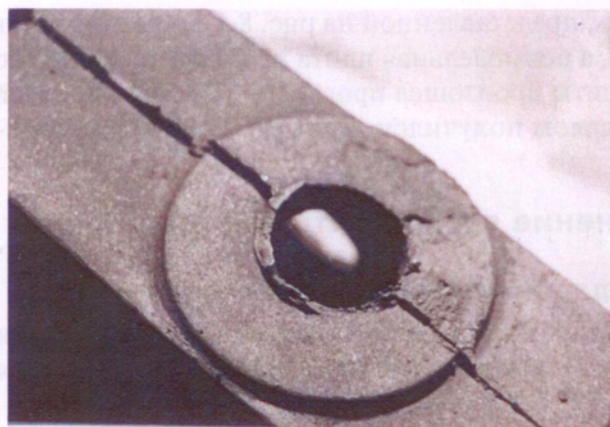


Рис. 8.1.5. Отливка «Поперечина»
с заливом по разъему формы



Рис. 8.1.6. Отливка «Каток»
с заливом по разъему формы

В основном, скрепление опок на конвейерах осуществляется скобами, реже штырем с клином. На автоматических формовочных линиях производится автоматическое наложение груза на верхнюю полуформу и автоматическое снятие.

Скобами скрепляются опоки размером до 1700 мм, количество скоб 4 шт. Скрепление опок скобами очень удобно и позволяет легко и быстро восполнять неизбежные потери скоб. Такое скрепление получило широкое распространение в массовом и индивидуальном производстве. Некоторые заводы, доведя количество скоб до шести, скрепляют опоки размером до 2500 мм.

Возможные причины возникновения залива:

- деформированные или изношенные скобы создают слабое усилие контакта спаренных опок;
- неправильное расположение груза или его недостаточное усилие приводит к поднятию полуформы верха;
- возникновение тряски залитой формы при ее движении на конвейере создает условия образования заливов.

Хорошая загрузка или крепление очищенных с поверхности контакта опок является залогом получения отливок без заливов по разъему формы. На рис. 8.1.6 представлено обратное — залив по разъему формы из-за некачественного крепления опок.

Глава 8.2. Распор

Описание дефекта

Распором называют местные утолщения в отливке, расположенные преимущественно в нижних или слабоуплотненных частях формы. Попадающий в форму металл оказывает на нее тепловое и силовое воздействие, в результате чего смесь уплотняется. Кроме того, под действием металлостатического давления поверхностная сухая корка, образующаяся в сырой форме, деформируется и перемещается в направлении ослабленной зоны конденсации влаги. Такие явления вызывают значительное увеличение полости формы, особенно в нижней ее части, где действует максимальное металлостатическое давление. В результате протекающих процессов образуется дефект отливки — распор.

Расширение формы может происходить при повышении температуры, увеличении содержания графита в чугуне, замене в формовочной смеси огнеупорной глины бентонитами.

Использование прессованных форм при изготовлении отливок показывает, что увеличение давления прессования от 1,9 до 10 кг/см² приводит к уменьшению деформации образующейся при заливке формы сухой корки смеси в 7 раз (от 1,5 до 0,2 мм). Дальнейшее повышение давления оказывается менее эффективным.

Увеличение влажности и размера зоны конденсации влаги приводит к увеличению деформации полости формы.

Способы предотвращения распоров

1. Повышение степени уплотнения литейной формы давлением не менее 10 кг/см² для противостояния силовому воздействию металла в период заливки и затвердевания расплава без существенной деформации.
2. Уменьшение относительного количества влаги в формовочной смеси.
3. Введение производных крахмала и целлюлозы (крахмалита), которые активно поглощают воду при высокой температуре и увеличивают прочность зоны конденсации влаги. Этим повышается противостояние формы давлению заливаемого металла.
4. Введение в формовочную смесь молотого угля, кокса с хорошим перемешиванием смеси.
5. При конструировании модели следует избегать в ней элементов, в которые при уплотнении затруднено перетекание смеси. В ряде случаев рекомендуется дополнительное локальное уплотнение отдельных мест формы.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Твердость литейной формы

Для недопущения возникновения дефекта «Распор», форма должна иметь достаточно высокие служебные характеристики:

- должна обладать высокой механической прочностью;
- не должна деформироваться и разрушаться при выемке модели, при транспортировании и сборке;
- должна выдерживать механическое и тепловое воздействие жидкого металла.

При уплотнении смеси происходит увеличение ее объемного веса. Смесь максимально уплотненная вручную имеет объемный вес $1,72 \text{ г/см}^3$, при прессовании под давлением 125 атм. — $1,85 \text{ г/см}^3$. Обычная формованная смесь в бункере имеет объемный вес $1,15 \text{ г/см}^3$, уплотненная смесь $1,5 \text{ г/см}^3$.

Плотность набивки смеси характеризуется в зависимости от твердости формы: 25–30 — слабая набивка, 50–60 — средняя, 70–80 — плотная, 85–90 — очень плотная.

Увеличение давления прессования формы от $1,9$ до 10 кг/см^2 приводит к уменьшению деформации поверхности формы в 7 раз (от $1,5$ до $0,2 \text{ мм}$). Из рассмотренного следует, что для предупреждения распора плотность набивки формы должна быть на уровне 70–80 ед. При прессовании должно создаваться усилие в пределах 10 кг/см^2 .

На рисунке 8.2.1 представлена цилиндрическая отливка с дефектом «Распор» (подутость). Форма отливки изготовлялась ручной трамбовкой из формовочной смеси с малой текучестью. В результате небрежного уплотнения образовались места с меньшей твердостью, чем это требуется. Заливаемый металл доуплотнил эти места, что явилось следствием образования «распора».

§2. Влажность формовочной смеси

При заливке литейной формы жидким металлом ее поверхность быстро нагревается, а влага, находящаяся в поверхностном слое смеси, перемещается вглубь, образуя переувлажненный слой. Он имеет температуру около 100°C , повышенную влажность и низкую прочность. С течением времени этот переувлажненный слой удаляется от поверхности в глубь формы. В это же время залитый в форму металл создает металостатическое давление на поверхности формы и сдвигает поверхность формы в сторону переувлажненной зоны, имеющей низкую прочность. Этот момент является началом возникновения распора.

Следовательно, чем меньше будем вводить в смесь влагу, тем меньше будет переувлажненная зона из-за конденсации влаги и выше ее прочность. Пониженное содержание влаги в смеси можно компенсировать повышенным уплотнением формы. Повышенной прочности смеси при меньшем содержании влаги можно достичь при соответствующем подборе составляющих. Отметим некоторые моменты:

- чем выше связующая способность глины, тем выше прочность смеси, и меньше глины требуется для достижения нужной прочности;
- активированного бентонита следует всегда вводить меньше, чем каолининовой или полиминеральной глины;
- смешивание различных по минералогическому составу глин (например, каолининовых, монтмориллонитовых) дает относительно более высокую удельную прочность, чем применение каждой глины в отдельности. Разнородные глины как бы активируют друг друга;
- чем больше коэффициент угловатости зерен песка, тем выше прочность смеси

При значительном содержании в формовочной смеси перегоревшей глины и растрескавшихся частиц кварцевого песка требуется повышенное содержание влаги для набора смесью необходимой прочности. Представленная на рисунке 8.2.2 отливка «Ось вала» с дефектом «Распор» изготовлена в форме из описанной выше переувлажненной смеси. Дополнительно на возникновение дефекта повлияло двухуровневое уплотнение формы (уплотнение по уровню предварительно засыпанной смеси). Значительное освежение всей формовочной смеси позволило ликвидировать «Распор».



Рис. 8.2.1. Отливка «Вал» с «распором»



Рис. 8.2.2. Отливка «Ось вала» с «распором»



Рис. 8.2.3. Отливка «Стакан» с «распором»

§3. Поглотитель влаги в смеси

С момента заливки в формы металла начинается активный разогрев ее поверхности с образованием переувлаженного слоя смеси на некотором расстоянии от поверхности формы. В связи с высоким содержанием влаги этот слой имеет недостаточную прочность и может деформироваться под действием металлостатического давления. Следовательно, встает вопрос о снижении содержания свободной влаги в увлажненном слое смеси. Одним из направлений решения этого вопроса является введение в состав смеси веществ, которые при высокой температуре активно поглощают воду и увеличивают прочность переувлаженного слоя смеси. Это способствует повышению противостояния поверхности формы давлению заливаемого металла.

К веществам, активно поглощающим влагу при повышенной температуре, можно отнести производные крахмала и целлюлозы — крахмалит [48]. Крахмалит придает смесям стабильные свойства при уменьшении влажности, улучшает качество отпечатка, уменьшает чувствительность к переувлажнению смеси, снижает обсыхаемость формы на воздухе, уменьшает склонность к образованию ужимин. Крахмалит вводится в виде суспензий в количестве 0,1–0,15% (масс) от веса смеси.

§4. Повышение текучести смеси

В литейной форме распору наиболее подвержены места, где уплотнение смеси минимальное. Это происходит, в основном, из-за сложности конструкции отливки, создающей глубокие полости с затрудненным уплотнением смеси и из-за низкой текучести формовочной смеси. Если вопрос изменения конструкции отливки решается довольно сложно, то повышение текучести смеси гораздо проще.

Существуют добавки, повышающие текучесть формовочной смеси (в процентах от массы смеси) [48]:

- 0,05–0,10% гранулированного угля, вводится в виде суспензий, 0,1–0,15% крахмалита вводится в виде суспензий. Текучесть смеси с этими добавками (по Г.М. Орлову) не менее 70%;

- 0,38–0,42% угля молотого вводится в виде суспензий, 0,003% понизителя вязкости ПФЛХ вводится в виде суспензий. Текучесть смеси около 75%;
- битум — высокоэффективный природный или искусственный материал, значительно увеличивающий текучесть формовочной смеси. Хорошо растворяется в производных нефти (уайт-спирит и др.). Используется в составе комбинированных связующих УГВ, П, ЗИЛ и др.

Для хорошего размешивания вводимых добавок и получения качественной смеси продолжительность перемешивания в смесителях должна быть не менее 2–3 минут после введения каждого компонента.

Недостаточная текучесть формовочной смеси создает условия плохого уплотнения формы даже в доступных местах. На рис. 8.2.3 представлена отливка «Стакан» с дефектом «Распор». Дефект по линии уплотнения формовочной смеси возник в результате некачественного уплотнения смеси из-за ее низкой текучести. После введения в состав смеси раствора битума в уайт-спирите, уплотняемость смеси улучшилась, и дефект не появлялся.

Глава 8.3. Задир

Описание дефекта

Задиром называется дефект, представляющий собой непредусмотренное чертежом утолщение в виде неравномерной полосы, расположенной в направлении установки стержней или сборки формы.

Механизм формирования «задира»

При установке стержня в форму и при накрывании нижней полуформы верхней, возможно перемещение стержня или опоки в горизонтальной плоскости.

Иногда при сборке перемещения в горизонтальной плоскости настолько велики, что рабочие части полуформ и стержней соприкасаются. При этом с трущихся поверхностей сдвигается слой смеси, а в отливке получают соответствующие приливы — задиры.

При ручной формовке и малых зазорах между стенкой формы и стержнем возможность образования задира особенно велика.

Способы предотвращения задира

1. Проводить систематический контроль состояния модельно-опочной оснастки и своевременно заменять вышедшие из строя приспособления, которые должны обеспечивать строго вертикальное сопряжение полуформ при их сборке (штыри, втулки, отдельные элементы кондукторов и т. д.).
2. Предусматривать уклоны и зазоры в знаковых частях форм и стержней для снижения больших горизонтальных перемещений верхней полуформы.
3. Использовать соответствующие шаблоны, линейки и приспособления для проверки, установки и фиксации положения стержней при сборке.



Рис. 8.3.1. Отливка «Корпус» с дефектом «Задир»

4. Использовать конструкции штырей и втулок, обеспечивающих точное спаривание полуформ и предотвращать горизонтальные перемещения полуформ.
5. Исключить подъем верхней полуформы заливаемым металлом.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Зазоры и уклоны в знаковых частях

Для облегчения установки стержней в форму и ликвидации смещения делаются уклоны с зазорами между сопрягаемыми стенками формы и стержня, величина которых зависит от способа формовки, высоты стенки и материала модели (см. 8.1. §1).

§2. Состояние модельной оснастки

Следствием износа и механического повреждения модельной оснастки является искажение размеров формы, стержня и отливки. Величина износа моделей зависит от способа уплотнения формовочной смеси, положения поверхности модели на пути потока смеси и т. д.

В процессе эксплуатации оснастки необходима регулярная проверка ее размеров, конфигурации выступающих частей, крепежа между моделью и плитой. При интенсивной работе модельных плит и стержневых ящиков происходит их интенсивный износ, механические повреждения, изменение их размеров, что вызывает искажение размеров отливок. Вследствие деформации крепежных болтов между моделью и плитой образуется зазор, который заполняется частицами песка, что вызывает интенсивный износ поверхности модели, соприкасающейся с плитой.

Для надежного крепления модели устанавливаются и фиксируются на плите контрольными штифтами. Применение последних преследует две цели:

- с их помощью половины разъемных моделей спариваются в процессе изготовления;
- контрольными штифтами фиксируется положение моделей на плите при ее монтаже и эксплуатации модельной плиты в литейном цехе.

Количество контрольных штифтов и их размеры зависят от размеров модели. Количество штифтов колеблется от 2 до 4. Для лучшей фиксации моделей расстояние между штифтами должно быть возможно большим.

Крепление модели к плите может производиться винтами или болтами, а также шпильками при их посадке как через модель в плиту, так и наоборот.

В связи с механическим повреждением модели, форма подвергается искажению в виде задира ее поверхности. На рис. 8.3.2 представлена отливка «Переходник» с дефектом «Задир», образовавшимся из-за механического повреждения модели. После заделки и зачистки поврежденной поверхности модели, рассматриваемый дефект был ликвидирован.

§3. Простановка стержней в форму

Перед простановкой в форму стержней, особенно изготовленных с отверждением в тепловом сушиле, проводят их обдувку сжатым воздухом и осуществляют тщательный контроль. При контроле используют специальные инструменты, такие как шаблоны, линейки, калибры и приспособления для проверки, установки и фиксации положения стержней при сборке. Некоторые из инструментов представлены на рисунках 8.3.3 и 8.3.4. Особой тщательности подвергается калибровка стержневых знаков.

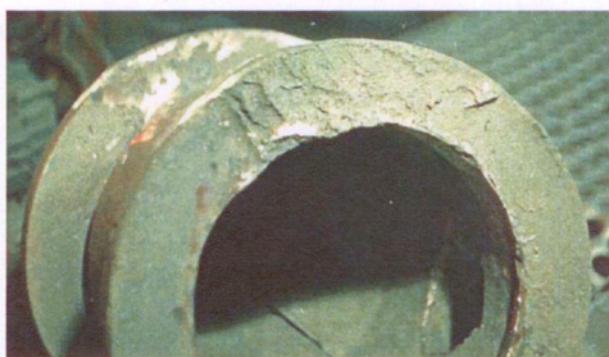
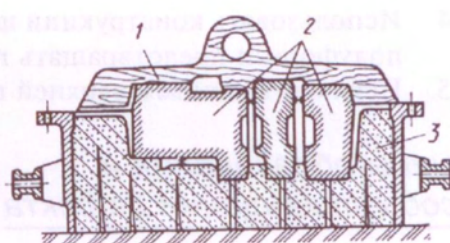
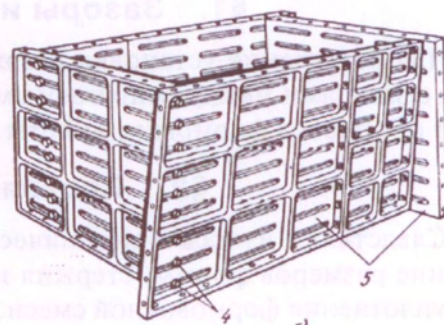


Рис. 8.3.2. Отливка «Переходник» с дефектом «Задир»

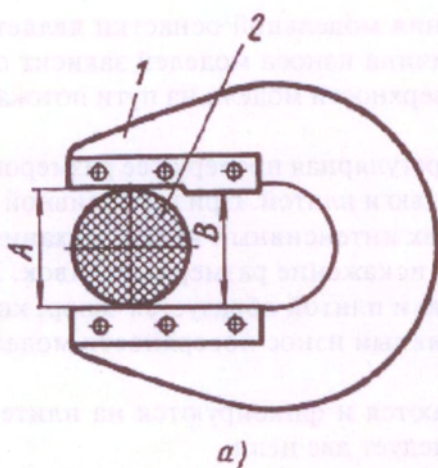


а)

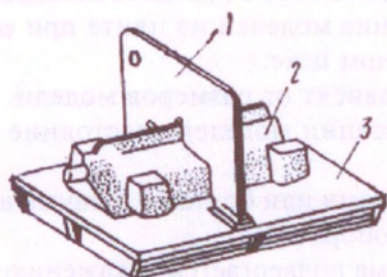


б)

Рис. 8.3.3. Контрольно-сборочные шаблоны:
а – плоский; б – сборный;
1 – шаблон; 2 – стержни; 3 – формы; 4 – винты для крепления сборочных плит; 5 – сборочные плиты



а)



б)

Рис. 8.3.4. Контрольно-стержневые шаблоны:
а – для проверки диаметра;
б – для контроля геометрии;
1 – шаблоны; 2 – стержни; 3 – контрольная плита



Рис. 8.3.5. Отливка «Корпус насоса с «задиrom»

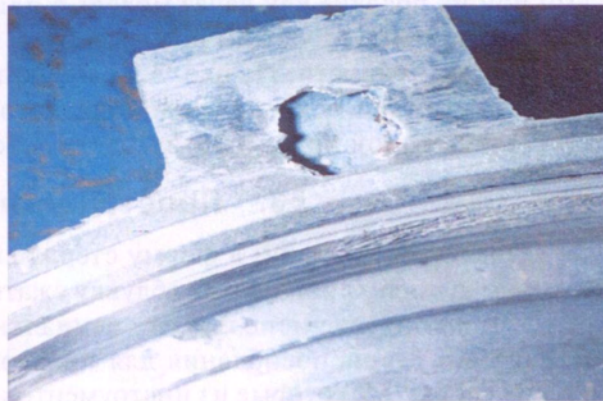


Рис. 8.3.6. Отливка «Крышка» с «земляной раковиной» в результате «задира»

При простановке стержней вручную соблюдают перпендикулярность их перемещения при опускании в форму.

После установки стержней необходимо убедиться в отсутствии зазоров в знаках. При наличии зазоров стержень поднимают, производят продувку формы от остатков смеси, ремонтируют место задира или заменяют форму новой. Установленные в форму стержни контролируются на наличие тела в отливке, производится осмотр нижней полости формы с подсветкой.

На рисунке 8.3.5 представлена отливка «Корпус насоса» с дефектом «Задир». Задир формовочной смеси произошел при неточной установке стержней, с несоблюдением перпендикулярности их опускания в форму. После установки стержня не был проведен контроль на наличие правильной посадки стержня с осмотром нижней полости формы с подсветкой.

При установке стержней с помощью кондукторов практически устраняются зазоры, поскольку точность простановки регулируется зазорами между штырями и втулками.

§4. Точность спаривания полуформ

Спариваемые опоки всегда должны центрироваться в двух диаметрально противоположных точках на торцевых стенках. Центрирование при спаривании опок производится с помощью сборочных штырей через центрирующие и направляющие втулки. Центрирующие и направляющие втулки, сборочные штыри должны изготавливаться из цементирующей стали марок 15 и 20 или из стали марки 45. Твердость центрирующих и направляющих втулок должна быть HRC 45–52, а сборочных штырей HRC 40–45. Глубина слоя цементации рабочих поверхностей не менее 0,8 мм, чистота рабочей поверхности не ниже 7 класса [52].

В целях взаимозаменяемости опок и повышения точности форм установлен допуск на расстояния между центрирующими отверстиями в ушках опок:

Длина опоки, мм	до 750	750–1600	1600–2400	2400–7100
Предельные отклонения, мм	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5

Механическая обработка отверстий должна осуществляться с помощью кондукторов. Диаметры центрирующих отверстий для соответствующих опок, размеры центрирующих и направляющих втулок опок, схемы штырей и их размеры описываются в 5.4. §3.

На рисунке 8.3.6 представлен фрагмент стальной отливки «Крышка» с «земляной раковиной». При спаривании полуформ была нарушена точность их сопряжения, при которой рабочая поверхность верхней полуформы соприкоснулась с частью стержня. В результате произошел задир формы и при заливке сталью часть формы с противопригарным покрытием попала в термический узел отливки.

Глава 8.4. Размыв

Описание дефекта

Под размывом следует понимать дефект отливки, вызванный разрушением части формы струей жидкого металла. В результате на отливке появляется неравномерное утолщение, часто с включениями формовочного материала. Располагается дефект по направлению потока жидкого металла.

Механизм образования размыва

При заливке литейная форма испытывает тепловое воздействие жидкого металла. В местах литейной формы, где скорость движения струи металла наибольшая, изменяются свойства смеси, в частности, ухудшается связь между зернами песка и происходит их расширение. При дальнейшем снижении прочности смеси понижается ее сопротивляемость воздействию струи заливаемого металла и происходит размыв формы с увлечением смеси потоком металла. Размытые зерна песка распределяются по всему объему отливки, преимущественно в верхней части, и образуют земляные раковины.



Рис. 8.4.1. Фрагмент отливки «Корпус» с песчаными раковинами в результате размыва формы

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Скорость заливки формы

Скорость заливки стали

Операция заливки форм жидким металлом является одной из важнейших в технологическом процессе изготовления отливок. Перегретая сталь в печах и выдавая ее в ковш при повышенной температуре, в форму металл следует подавать при температуре, учитывая вид сплава, технологическую группу отливки, толщину ее стенок, скорость заполнения формы металлом.

На образование размыва в значительной степени оказывает влияние температура и скорость заливки стали. Чаще всего размываются стенки форм, изготавливаемых по-сырому.

Жидкий металл, имея в процессе заполнения формы повышенную скорость заливки, может разрушить стенки литниковой системы и формы, перенося продукты разрушения в различные части отливки, образуя засоры. Следовательно, одним из условий ликвидации размыва является выбор требуемой скорости заливки стали в форму.

Расчет скорости заливки стали (V , кг/с) можно провести по известной формуле:

$$V = O/T = G/S \cdot b_0^{1/3} \cdot G^{1/3},$$

где: O — масса жидкой стали (кг), расходуемой на полную заливку формы;
 T — время заливки формы, с;
 S — коэффициент времени, зависящий от расчетной толщины стенки отливки b_0 и массы жидкой стали G .

На практике рекомендуются следующие скорости заливки:

Вес стали в форме, кг	90–100	100–250	250–500	500–1000	1000–5000	5000–10000	10000–50000
Средняя скорость заливки, с	6–8	8–12	14–20	20–25	25–50	60–80	80–140

Для снижения размывающего воздействия заливаемого металла на литниковую систему и поверхность формы, рекомендуется помнить о ряде особенностей:

1. Перед заливкой ковш устанавливают так, чтобы расстояние от стопорного отверстия или носка ковша до литниковой чаши было минимальным (100–200 мм).
2. При заливке нужно быстро заполнить литниковую чашу жидким металлом, а затем уменьшить скорость заливки, поддерживая постоянный уровень металла в чаше.
3. Регулировка скорости заливки в первоначальный момент производится неполным открыванием стопорного отверстия или наклоном ковша при заливке через носок. В дальнейшем скорость заливки стали будет зависеть от веса отливки, ее конфигурации, средней толщины стенки и конструкции литниковой системы.
4. Скорость разливки стали нужно выбирать по высоте остатка металла в ковше, т.е. по минимальной высоте.
5. Для тонкостенных отливок скорость заливки увеличивают. Толстостенные отливки заливают с меньшей скоростью для уменьшения усадочных дефектов.

Скорость заливки чугуна

Для получения качественного литья очень важными являются температура заливаемого чугуна и весовая скорость заливки. Это продиктовано конструкцией отливок и технологией их изготовления. Например, для ликвидации размыва требуется пониженная температура чугуна и уменьшенная скорость заливки, а для ликвидации недолива — повышенная температура и повышенная скорость заливки (см. 1.4. §9).

Для ликвидации дефекта «Размыв» необходимо, чтобы форма заполнялась металлом за оптимальное время с определенной скоростью. Высокая скорость заливки способствует повышению размываемости уплотненной формы. На рис. 8.4.2 представлена отливка «Крышка» с земляными раковинами на рабочей поверхности. Дефект отливки появился вследствие увеличенного сечения литниковой системы, а это привело к увеличению скорости заливки формы. После приведения сечения литниковой системы к рекомендуемому по расчету, рассматриваемый дефект не появлялся.

На рис. 8.4.3а, б представлена отливка «Крышка корпуса» с земляной раковиной, образовавшейся по вышеописанной причине.

§2. Конструкция литниковой системы

Сталь

Существенное влияние на предупреждение размыва литниковой формы оказывает литниковая система. При разработке литниковых систем рекомендуется принимать во внимание следующее:



Рис. 8.4.2. Отливка «Крышка» с земляной раковинной от «размыва»



Рис. 8.4.3а. Отливка «Крышка корпуса» с земляной раковинной



Рис. 8.4.3б. Дефект отливки (увеличено)



Рис. 8.4.4а, б, в. Отливка «Фланец» с различной системой подвода питателей

1. Количество засоров в отливке уменьшается при заливке стали в литниковую чашу, по сравнению с отливкой, полученной при использовании литниковой воронки.
2. Использование глубокого зумпфа, по сравнению с мелким, способствует снижению размывающей способности стали.
3. Увеличение расстояния между стояком и питателями или установка между ними шлакоулавливающего устройства снижают вероятность попадания частиц смеси в отливку.
4. При изготовлении отливок увеличенной металлоемкости в песчано-глинистых формах целесообразно упрочнять места подвода металла путем прошпиливания формы, а при значительной металлоемкости применять огнеупоры, особенно в местах свободного падения потоков стали.
5. Важным является правильный выбор места подвода металла в форму. Его выбирают в каждом отдельном случае в зависимости от размеров отливки, ее конфигурации, материала, технических требований при обработке и т. д. Для снижения размыва необходимо:
 - рассредоточение подвода металла с направлением питателей вдоль простенок формы;
 - расширение устья питателей;
 - максимальное ограничение высоты свободного падения потоков металла из литников;
 - подвод металла в утолщенные части отливки, если это не нарушает условия питания отливки.

На рис. 8.4.4а, б, в представлена отливка «Фланец» с разными сечениями, числом и местом подвода питателей при одном и том же сечении стояка. На рис. 8.4.4а заливка осуществлялась через один питатель сечением 3 см^2 . Интенсивная струя металла частично размывала поверхность формы, что привело отливку к дефекту. На поверхности отливки видны земляные раковины в большом количестве.

На рис. 8.4.4б отливка имеет один питатель сечением 2 см^2 . Наблюдается уменьшение размыва формы и снижение количества земляных раковин на поверхности отливки.

На рис. 8.4.4в отливка имеет два питателя сечением по 1 см^2 и чистую от земляных раковин верхнюю поверхность отливки. Следовательно, для предотвращения размыва поверхности формы, рекомендуется использовать увеличенное число питателей. Это особенно важно при использовании формовочной смеси с низкими прочностными свойствами.

§3. Поверхностная твердость формы

При контакте жидкого металла с формой, особенно в тех местах, где скорость движения и ударное давление струи металла наибольшие (поворот под прямым углом, удар металла из питателя в стенку формы и т. п.), возможен размыв формовочной смеси и увлечение песка в тело отливки.

Размыв формы происходит из-за низкой прочности уплотненной смеси, ее недостаточных термомеханических свойств или неудовлетворительного уплотнения смеси в труднодоступных местах.

Для предотвращения размыва необходимо соблюдать физико-механические и технологические свойства формовочной смеси, указанные в техпроцессе. Увеличение активной части глины в составе смеси повышает прочность и текучесть, снижает осыпаемость и вероятность образования ужимин и размывов. Содержание активной глины в смесях для формовки по-сырому должно быть не менее 8%. Использование облицовочной смеси с высокими проч-

ностными и технологическими характеристиками для формообразования литниковой системы оказывает влияние на ликвидацию размыва. Для увеличения прочностных и технологических параметров формовочной смеси используют следующие добавки [48]:

- ДС-РАС и контакт Петрова. Они уменьшают вязкость глинисто-угольной суспензии и дают возможность увеличить в ней содержание глины, причем смеси не обсыхают и не имеют повышенной осыпаемости при снижении влажности;
- крахмалит — порошок, получаемый при термической обработке крахмало-белковой суспензии кукурузы. Имеет влажность не более 12%, набухаемость в холодной воде 13–16 мл/г, насыпную массу 0,25–0,35 г/см³. Используется в формовочной смеси для ответственного чугунного литья с целью повышения поверхностной прочности сырых форм в количестве до 0,1%, снижает брак по засорам;
- понизитель вязкости ПФЛХ. Повышает прочностные свойства смесей, текучесть, обеспечивает стабильность свойств при изменении влажности, снижает вязкость глинисто-угольной суспензии.

На рис. 8.4.5 приведена отливка «Корпус насоса» с разрывом формовочной смеси и образованием выступающего нароста металла. Это явилось результатом слабого уплотнения формовочной смеси и разрушения ее заливаемым металлом. На рис. 8.4.6 представлена отливка «Колесо» с аналогичным дефектом от слабого уплотнения смеси.

§ 4. Контроль качества формовочной смеси

Залогом успеха при ликвидации разрушения формовочной смеси (разрыв, засор, обжим, обвал, подрыв, ужимы и др.) является тщательное выполнение технологических инструкций и контроль качества приготовленной формовочной смеси.

Технологическими свойствами формовочной смеси, оказывающими влияние на вышеперечисленные дефекты, являются влажность, прочность на сжатие в сыром состоянии, прочность на разрыв в сыром состоянии, поверхностная твердость, текучесть, формуемость, осыпаемость.

Влажность — один из главнейших факторов, определяющих свойства смеси и качество полученной отливки. Оптимальную влажность принято выбирать по максимуму прочности во влажном состоянии. Повышенная влажность является причиной засоров, разрывов, подрывов, ужимов, раковин и т. д.

Прочность на сжатие и разрыв в сыром состоянии зависит от содержания активной глины, влажности, зернового состава и формы зерен песка, степени уплотнения. Понижение прочности приводит к снижению твердости, разрывам и обвалам формы, ухудшению качества поверхности и расбору.

На рис. 8.4.7 представлена отливка «Патрубок всасывающий» с дефектом «Разрыв». Обладая недостаточными прочностными свойствами, формовочная смесь была размыта потоком заливаемого металла и занесена в верхнюю часть фланца отливки. После контроля свойств формовочной смеси и приведения ее характеристик до требуемых, дефект не появлялся.

Поверхностная твердость формы имеет связь с прочностными свойствами смеси: чем выше прочность, тем больше твердость. Поэтому прочностные свойства смеси непосредственно в форме можно характеризовать поверхностной твердостью формы. Твердость определяется сопротивлением смеси погружению шарикового наконечника твердомера на глубину 0–5 мм под нагрузкой 0,2–1 кг. Показатели твердости выражают в абсолютных единицах.

На рисунке 8.4.8 представлено дефектное место отливки «Корпус вентиля» с земляной раковиной. Дефект образовался в результате размыва формовочной смеси заливаемым



Рис. 8.4.5. Отливка «Корпус насоса» с дефектом «Размыв»



Рис. 8.4.6. Отливка «Колесо» с дефектом «Размыв»



Рис. 8.4.7. Отливка «Патрубок всасывающий» с дефектом «Размыв»



Рис. 8.4.8. Фрагмент фланца отливки «Корпус вентиля» с земляной раковинной по уплотняющему бурту

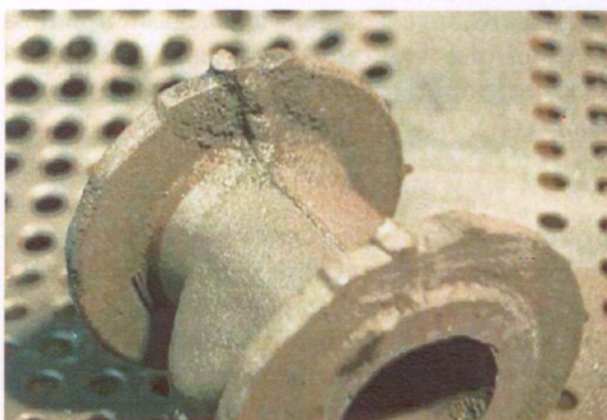


Рис. 8.4.9. Отливка «Корпус вентиля» с дефектом «Размыв»

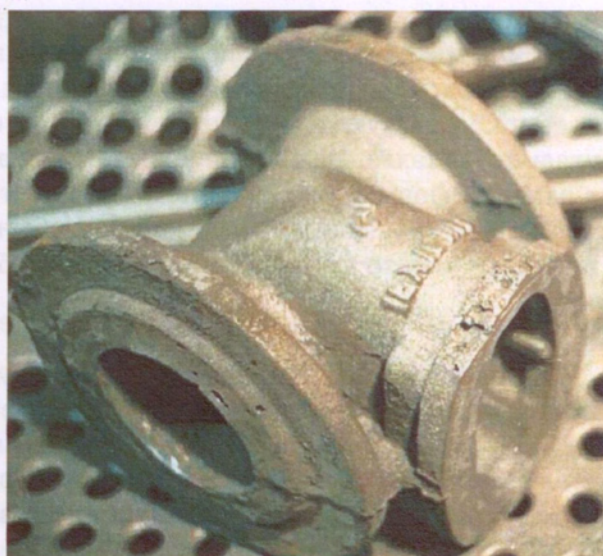


Рис. 8.4.10. Отливка «Корпус вентиля» с песчаной раковинной

металлом. При изучении причины возникновения дефекта установлено, что формовочная смесь имела низкую поверхностную прочность из-за недостатка содержания огнеупорной глины.

Текучесть является показателем способности смеси к перетеканию при уплотнении. Высокой текучестью обладают маловлажные смеси на основе бентонита с добавками битума, понизителя вязкости ПФЛХ и связующих: КО, КВС, сульфитной барды и др. Низкая текучесть приводит к снижению твердости формы, особенно в трудноуплотняемых местах, размыву, ухудшению качества поверхности и нарушению геометрических размеров отливки. Для сложных отливок текучесть смеси должна быть не ниже 80%.

Формуемость характеризует связность (сыпучесть) смеси в неуплотненном состоянии и зависит, в первую очередь, от влажности смеси. При низкой формуемости смесь плохо заполняет глубокие полости и карманы модели, что приводит к размывам, ухудшению качества поверхности, нарушению геометрических размеров, распору и др. Хорошая формуемость особенно важна при использовании смеси на автоматических формовочных линиях (не ниже 70–80%).

Осыпаемость зависит от состава смеси и степени уплотнения. При высокой осыпаемости возможен размыв формы, выкрашивание при установке стержней, возникновение пригара, песочных раковин и др. Осыпаемость снижается введением добавок ДС-РАС, контакт Петрова, крахмалита и др. Осыпаемость должна быть в пределах 0,1–0,5%.

§5. Использование бентонита

Смеси на бентонитовых глинах обладают высокой связующей способностью. Активирование бентонитовых глин повышает их седиментационную устойчивость и связующую способность. Для снижения обсыхания кромок формы в состав смеси вводят поверхностно-активные вещества ДС-РАС, контакт Петрова, крахмалит. Это дает возможность использования бентонитовых смесей в различных видах производства отливок от мелкосерийного до массового.

Из бентонитовых глин наибольшее предпочтение отдают кальциевым и кальцийнатриевым. По сравнению с натриевыми, смеси с кальциевыми бентонитами обладают более высокой стойкостью к размыванию. Смеси на суспензии с кальциевым бентонитом быстрее, чем натриевые, приобретают конечное значение прочности при перемешивании в бегунах. Формы из этих смесей легче разрушаются при выбивке отливок.

Формовочные смеси с использованием активированных бентонитовых глин обладают высокой связующей способностью, противостоящей размывающему воздействию заливаемого металла. На рис. 8.4.9 представлена отливка «Корпус вентиля» со следами прилива от размыва формы в области подвода питателя. Формовочная смесь состояла из оборотной смеси с добавлением освежения и обычной огнеупорной глины. При введении в состав смеси вместо глины активированного бентонита, размыв смеси прекратился.

§6. Термостойкие смеси или изделия

Для предотвращения размыва используют облицовочные смеси повышенной термостойкости, из которых формируют наиболее напряженные места, где наблюдается ударное воздействие металла или его повышенная скорость. Широкое распространение получили смеси на основе жидкого стекла, заливаемые после поверхностной подсушки, химического твердения, провяливания на воздухе. В состав смеси входят 5–7% жидкого стекла, 0,5–1,5% едкого натрия, 0,3–0,7% мазута, остальное наполнитель.

Проводимые исследования показали, что стойкость к размыванию у жидкостекольных смесей в 4 раза выше, чем у песчано-глинистых.

Для ликвидации размыва используют упрочняющие покрытия. Для этого поверхность разовых сырых форм опрыскивают упрочняющими растворами и окрашивают противпригарно-упрочняющими красками. Растворы представляют собой смеси различных связующих, способных впитываться в глубь уплотненной смеси и упрочнять ее поверхность в результате провяливания или кратковременного нагрева. Наиболее эффективным и простым является 50%-ный водный раствор жидкого стекла плотностью 1,23–1,25 г/см³. Количество размывов в отливках значительно уменьшается при тщательном окрашивании рабочей поверхности формы, например, цирконовой, маршалитовой, магнезитовой, форстеритовой и другими красками.

На рис. 8.4.10 представлена отливка «Корпус вентиля» с песчаной раковиной в верхней части отливки. Раковина образовалась в результате размыва части литниковой системы (нижняя часть стояка) и занесения земли потоком металла. После установки на место зумпфа стержня из смеси с жидким стеклом размывание литниковой системы не происходило.

Кроме изложенного выше, при изготовлении крупных отливок, места, подверженные интенсивному размыву стальной, выполняются с использованием огнеупорных изделий. К таким местам относятся литниковые воронки, стояки, зумпфы, пережимы и повороты в литниковой системе и т. д. К огнеупорным шамотным изделиям относятся воронки, трубки центровые, трубки сифонные и концевые, трубки литниковые, колена литниковые, питатели литниковые и др. В ряде случаев огнеупорные изделия заменяются вставками из жидкостекольной смеси в просушенном состоянии.

§7. Литниковые системы. Зумпф

Зумпф является основанием стояка, восполняется обычно в нижней полуформе в виде полусферы.

Роль зумпфа сводится к смягчению удара струи металла при повороте каналов литниковой системы. Более глубокий зумпф в большей степени смягчает удар и обеспечивает уменьшение интенсивности литниковой системы к размыванию поверхности формы. На рис. 8.4.11 представлена схема части литниковой системы с зумпфом.

На рис. 8.4.12 представлены авторадииограммы, полученные с отливок, залитых через литниковые системы с зумпфом (а) и без зумпфа (б) [25]. При отсутствии зумпфа (рис. 3.4.12б) количество засоров наиболее велико, зумпф в виде полусферы уменьшает их количество, глубокий зумпф (а) дает наилучшие результаты.

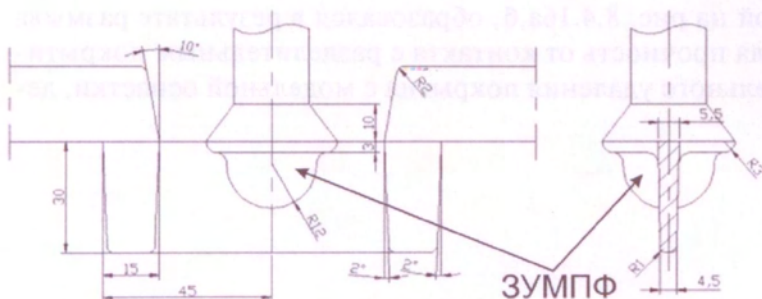


Рис. 8.4.11. Схема части литниковой системы с зумпфом

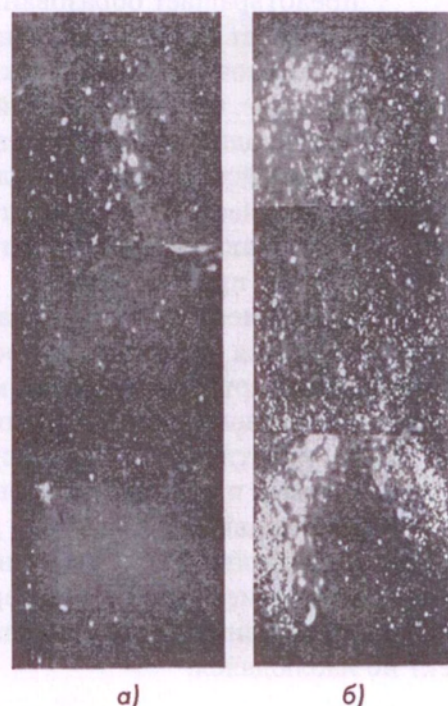


Рис. 8.4.12. Авторадииограммы, характеризующие влияние зумпфа на размывание поверхности формы стальной:
а – с глубоким зумпфом;
б – без зумпфа

На рис. 8.4.13а, б представлена отливка с земляной раковиной, образовавшейся в результате размыва части литниковой системы из влажной песчано-глинистой смеси. В литниковой системе отсутствовал глубокий зумпф и не было дросселя для торможения скорости движения металла в форме. Для предотвращения размыва литниковой системы при тяжелых условиях заливки (высокая температура заливаемого металла, колебание высоты заливки), следует литниковую систему с глубоким зумпфом и дросселем выполнить в виде стержня из жидкостекольной смеси.

Представленная на рис. 8.4.14 отливка «Корпус запорный» имеет земляную раковину в подприбыльной части, вызванную размывом влажной песчано-глинистой формы. Следствием появления раковины было отсутствие в литниковой системе зумпфа, который снижает возможность размыва формы заливаемой сталью. После выполнения глубокого зумпфа под стояком и улучшения системы шлакоулавливания, появление земляных раковин значительно снизилось.

Дефект отливки аналогично рассмотренному представлен на рис. 8.4.15. Отсутствие зумпфа и дроссельной системы привело к размыву влажной песчано-глинистой смеси с образованием земляных раковин на рабочей поверхности отливки.

§8. Разное, или Советы бывалого

1. При использовании небольших опок с большим числом отливок, через питатели проходит большой объем металла. В результате формовочная смесь разогревается, разупрочняется и размывается.
2. Высокая скорость течения металла по литниковой системе и поверхности формы предотвращает образование корки металла для защиты поверхности формы и разогревает смесь до потери прочности. В результате возможен размыв.
3. Формовочная смесь должна обладать достаточной прочностью при высокой температуре. Отсутствие такой прочности при температуре заливаемого металла обычно происходит от недостатка глины или от ее низких технологических свойств. На эти свойства оказывает влияние ряд факторов:
 - некачественное приготовление системы глина-вода;
 - неправильный выбор типа используемой глины, обладающей низкой прочностью при нагреве;
 - чрезмерное использование органических добавок, при выгорании которых теряется горячая прочность смеси.
4. При изготовлении форм, модели покрывают разделительным составом (например, керосином) для снижения прилипаемости. Небрежное удаление покрытия с поверхности оснастки, присутствие его остатков в углублениях и других местах приводит к попаданию покрытия в формовочную смесь и потере ее прочности. Это может явиться причиной размыва части формы заливаемым металлом.

Дефект отливки, представленной на рис. 8.4.16а,б, образовался в результате размыва части формы, смесь которой потеряла прочность от контакта с разделительным покрытием модельной оснастки. После тщательного удаления покрытия с модельной оснастки, дефект не наблюдался.



Рис. 8.4.13а. Отливка «Колесо ведущее» с земляной раковинной

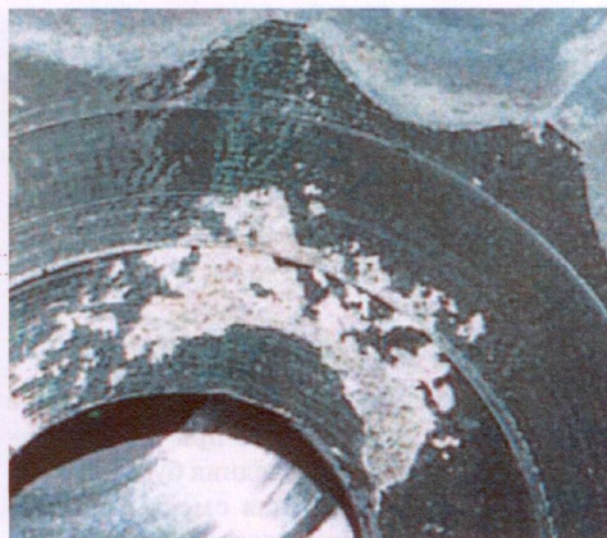


Рис. 8.4.13б. Фрагмент отливки с дефектом (увеличено)



Рис. 8.4.14. Отливка «Корпус запорный» с земляной раковинной

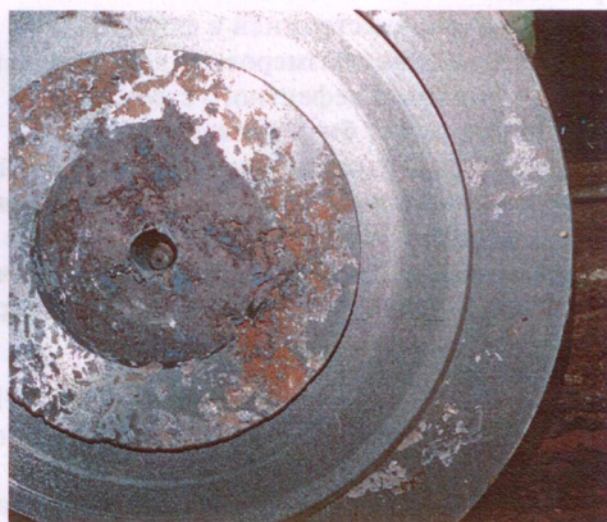


Рис. 8.4.15. Отливка «Колесо рабочее» с земляной раковинной на обработанной поверхности



Рис. 8.4.16а. Рабочая площадка отливки «Корпус запорный» с земляной раковинной



Рис. 8.4.16б. Фрагмент с дефектом (увеличено)

Глава 8.5. Обжим

Описание дефекта

Обжимом называют неравномерный прилив, обнаруживаемый у плоскости разреза формы или стержня. Обвалившиеся части формы попадают в отливку в виде песчаных включений.

Механизм формирования обжима

Если размеры знаков стержня больше знаковых частей формы, то при простановке стержней в форму последняя будет деформироваться, формовочная смесь в районе знаковых частей может растрескаться и разрушиться. К образованию обжима может привести:

- смещение стержней в форме;
- искажение размеров знаковых частей формы и стержней при их ремонте;
- установка дефектного стержня и др.

Обжим может быть вызван:

- неправильно изготовленной модельной оснасткой и дефектами используемой оснастки;
- короблением моделей, стержневых ящиков, сушильных плит и драйеров;
- износом знаковых частей моделей и стержневых ящиков.

Нарушения в конструкции опок и подмодельных плит, и, связанная с этим, неточность при сборке и загрузке формы, могут привести к разрушению кромок формы в плоскости разреза и образованию обжима.

Способы предотвращения обжимов

Между знаковыми частями формы и стержней предусматривают зазоры, а на знаках — уклоны.

На горизонтальных знаках для формовки по-сырому рекомендуется выполнять противообжимные пояски для предохранения кромки знака формы от разрушения при сборке.

Формовочные смеси должны обладать высокой прочностью и достаточной пластичностью (см. 8.3. Описание дефекта).

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§ 1. Прочность формы

Образование обжима связано с разрушением отдельного участка формы при сборке, особенно в местах выступающих частей. Для снижения возможности образования обжима, формовочные смеси должны обладать высокой прочностью и достаточной пластичностью.

Обжим может образоваться в результате недостаточной прочности формовочной смеси (переувлажнение или недостаток влаги, недостаток активной глины или много шламообразующих веществ и т.д.). На рис. 8.5.2 представлена отливка «Корпус вентиля» с обжи-

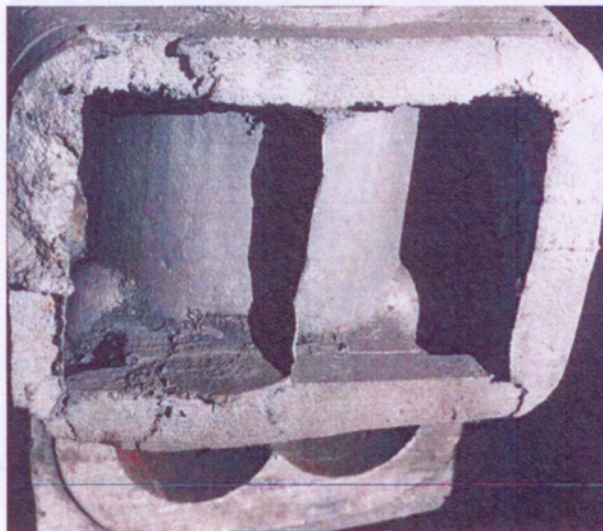


Рис. 8.5.1. Отливка «Корпус насоса» с дефектом «Обжим»

мом в результате разрушения отдельного участка формы из-за недостаточной прочности смеси.

При приготовлении смеси необходимо соблюдать физико-механические и технологические свойства формовочной смеси, установленные в техпроцессе. Увеличение активной части глины в составе смеси повышает прочность и текучесть, снижает осыпаемость и вероятность образования обжимов и других дефектов. Содержание активной глины в смесях для формовки по-сырому должно быть не менее 8%. Использование облицовочной смеси с высокими прочностными и технологическими характеристиками для формообразования опасных мест оказывает положительное влияние на ликвидацию обжима (см. 8.4. § 3).

§ 2. Зазоры и уклоны в знаковых частях

Для облегчения установки стержней в форму и ликвидации смещения делаются уклоны с зазорами между сопрягаемыми стенками формы и стержня, величина которых зависит от способа формовки, высоты стенки и материала модели. Таблицы и рисунки с рекомендациями по уклонам и зазорам между знаками формы и стержня приведены в 8.1. § 1.

На рисунке 8.5.3 представлена отливка «Корпус вентиля» с обжимом верхней полуформы за счет смещения формы при ее сборке. После ликвидации зазоров, дефект не повторялся.



Рис. 8.5.2. Отливка «Корпус вентиля» с обжимом



Рис. 8.5.3. Отливка «Корпус вентиля» с обжимом верхней полуформы

§ 3. Противообжимные пояски

В знаковых частях верхней и нижней полуформы для предотвращения обжима рекомендуется устройство следующих конструкций:

- противообжимные пояски на границе начала сопряжения стержневого и формовочного знаков;
- обжимные кольца для предотвращения заливки вентиляционных каналов металлом;
- канавки в торцовой части знака для предохранения попадания под кромку песка при установке стержня в форму.

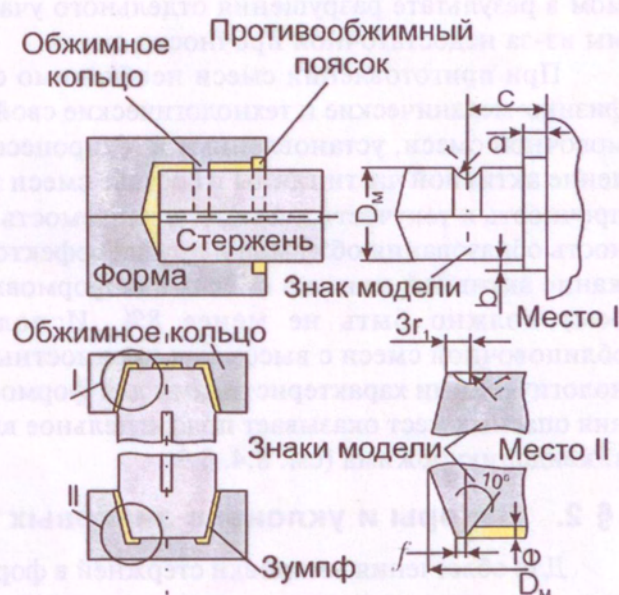
Противообжимные пояски могут применяться на знаках круглой и некруглой формы [52]. В табл. 8.5.1 представлены примеры оформления противообжимных поясков с рекомендуемыми размерами.

Недостаточная прочность стержневой смеси приводит к обжиму знаков при постановке стержней в форму. На рис. 8.5.4 представлена отливка «Корпус» с дефектом «Обжим», возникшим из-за слабой набивки формовочной смеси. В такие формовочные знаки трудно установить стержень без обжима.



Рис. 8.5.4. Отливка «Корпус» с дефектом «Обжим»

Таблица 8.5.1
Схема оформления противообжимных поясков
с табличными значениями размеров



Номинальный диаметр знака модели, D _М	Горизонтальные знаки				Вертикальные знаки			
	a	b	c	r	e	f	n ₁	
Св. 30 до 50	5	0,5	-	-	-	-	-	
»50 »100	5	1	15	2	2	3	2	
»100 »200	8	1,5	20	3	3	4	3	
»200 »400	10	1,5	25	5	4	5	5	
»400	12	2	40	5	5	6	5	

В процессе сборки формы отливки «Корпус вентиля» (рис. 8.5.5) произошел обжим формы стержневым знаком. Разрушенная часть формы всплыла во фланец. При изготовлении противообжимных поясков и повышении прочности формовочной смеси, дефект не возникал.

§4. Состояние модельной оснастки

Следствием износа и механического повреждения модельной оснастки является искажение размеров формы, стержня и отливки. Величина износа моделей зависит, например, от способа уплотнения формовочной смеси, положения поверхности модели на пути потока смеси.

В процессе эксплуатации оснастки необходима регулярная проверка ее размеров, конфигурации выступающих частей, крепежа между моделью и плитой.

При интенсивной работе модельных плит и стержневых ящиков происходит их интенсивный износ, механические повреждения, изменение размеров, что вызывает искажение размеров отливок. Вследствие деформации крепежных болтов между моделью и плитой образуется зазор, который заполняется частицами песка, что вызывает интенсивный износ поверхности модели, соприкасающейся с плитой (см. 4.1. § 2).



Рис. 8.5.5. Отливка «Корпус вентиля» с дефектом «Обжим» в виде земляной раковины и следами прилива от разрушения смеси

§5. Точность спаривания полуформ

Спариваемые опоки всегда должны центрироваться в двух диаметрально противоположных точках, на торцевых стенках. Центрирование при спаривании опок производится с помощью сборочных штырей через центрирующие и направляющие втулки. Центрирующие, направляющие втулки и сборочные штыри должны изготавливаться из цементированной стали марок 15 и 20 или из стали марки 45. Твердость центрирующих и направляющих втулок должна быть HRC 45–52, а сборочных штырей – HRC 40–45. Глубина слоя цементации рабочих поверхностей не менее 0,8 мм, чистота рабочей поверхности не ниже 7 класса (см. 8.4. § 4).

Быстрое накрывание нижних полуформ с перекосом верхних, приводит к обжиму формовочной смеси в знаках. Представленная на рис. 8.5.6 отливка «Корпус вала» имеет земляную раковину от обжима знака формы. Эта же отливка на рис. 8.5.7 имеет прилив от дефекта «Обжим» формовочной смеси у знака верхней полуформы.

§6. Разное, или Советы бывалого

Дефект «Обжим» очень часто возникает по причине небрежности, несоблюдения выполнения требуемых правилами технологических операций. Частыми причинами возникновения дефекта является неправильное выполнение операций на участках формовки и сборки.

1. Небрежная транспортировка верхних полуформ с быстрым накрыванием нижних может создать перекос верхней полуформы с обжимом формы о стержень.
2. Осуществление крепежа одной части полуформы, когда вторая еще не села на свое место.
3. Небрежная постановка стержней в форму, влекущая обжим стержневых знаков, либо разрушение формы или стержня.
4. Неправильно установленные жеребейки могут повлечь наклон или опрокидывание стержней, привести к разрушению поверхностного слоя смеси при соединении полуформ.
5. Использование стержней с негабаритными, неровными или шероховатыми стержневыми знаками приводит к обжиму знаков или разрушению поверхностного слоя смеси верхней полуформы.

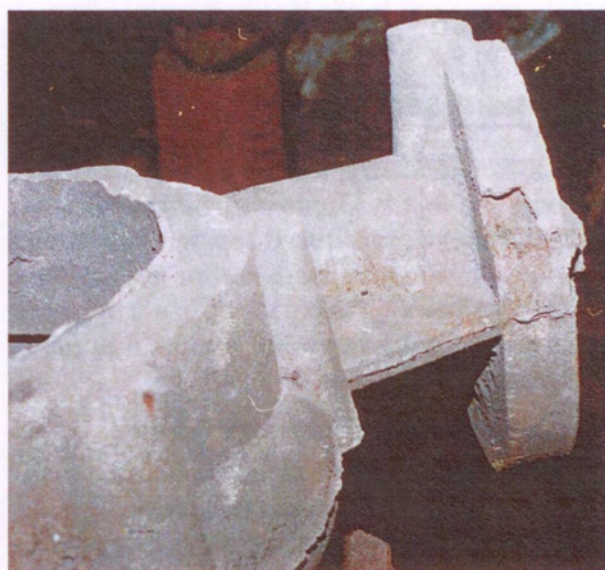


Рис. 8.5.6. Отливка «Корпус вала» с земляной раковиной от дефекта «Обжим»

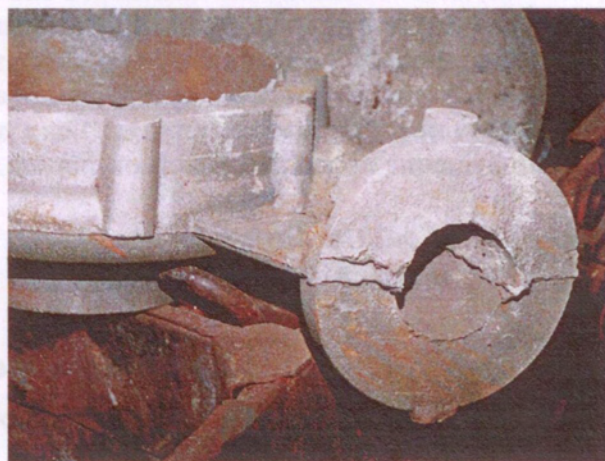


Рис. 8.5.7. Отливка «Корпус вала» с приливом от обжима

Глава 8.6. Обвал

Описание дефекта

Обвалом называют прилив на отливке, имеющий конфигурацию разрушившейся части формы или стержня. В верхней части при этом обнаруживают включения песка. При обвале крупных участков форм и стержней значительно искажаются размеры и конфигурация всей отливки.

Механизм формирования

Причиной разрушения отдельных участков формы и образования обвалов часто являются недостаточная прочность формовочной смеси на разрыв. Под действием собственного веса уплотненной смеси в верхнем болване возникают растягивающие напряжения, достигающие максимального значения у основания болвана. При недостаточной прочности формовочной смеси на разрыв, такой болван может оборваться при транспортировке форм под заливку, различных толчках и других внешних воздействиях на собранную форму. Аналогичное разрушение выступающих частей может произойти в нижней полуформе при заливке металла. Если длительность заливки формы достаточно велика, разрушение отдельных участков формы может произойти по зоне конденсации влаги.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§ 1. Прочность формовочной смеси

Образование обвала связано с недостаточной уплотняемостью и прочностью формовочной смеси. Под действием собственного веса уплотненной смеси и при сопутствующих внешних возмущениях (удар при спаривании опок, различные толчки и др.) выступающие части (болваны) формы могут разрушиться. Для снижения возможности отрыва болванов необходимо использовать смесь с повышенной прочностью, подкрепляя ее прочностью простановкой крючков, солдатиков и шпилек.

При приготовлении смеси необходимо соблюдать физико-механические и технологические свойства формовочной смеси, установленные в техпроцессе. Увеличение активной части глины в составе смеси повышает прочность и текучесть, снижает осыпаемость и вероятность образования ужимин, размывов, обвалов. Содержание активной глины в смесях для формовки по-сырому должно быть не менее 8%. Использование облицовочной смеси с высокими прочностными и технологическими характеристиками для формообразования болванов оказывает положительное влияние на ликвидацию обвалов (см. 8.4. § 3).



Рис. 8.6.1. Дефект отливки «Обвал»



Рис. 8.6.2. Отливка «Колесо» с дефектом «Обвал»

Отсутствие у формовочной смеси требуемых показателей сырой прочности и прочности на сдвиг зачастую приводят к обвалу формы. На рис. 8.6.2 представлена отливка «Колесо» с дефектом «Обвал» из-за низкой сырой прочности смеси.

§ 2. Точность спаривания полуформ

Спариваемые опоки всегда должны центрироваться в двух диаметрально противоположных точках, на торцевых стенках. Центрирование при спаривании опок производится с помощью сборочных штырей через центрирующие и направляющие втулки (см. 8.4. § 4).

На рис. 8.6.3 представлена отливка «Корпус вентиля» с обвалом знаковой части формы из-за неточного спаривания полуформ при помощи укороченных спаривающих штырей.



Рис. 8.6.3. Отливка «Корпус вентиля» с обвалом знаковой части формы

§ 3. Состояние модельно-опочной оснастки

Следствием износа и механического повреждения модельной оснастки является искажение размеров формы и стержня, приводящих к подрыву болванов при извлечении моделей из формы. Величина износа моделей зависит от способа уплотнения формовочной смеси, положения поверхности модели на пути потока смеси и т.д. В процессе эксплуатации оснастки необходима регулярная проверка ее размеров, конфигурации выступающих частей, крепежа между моделью и плитой. При интенсивной работе модельных плит и стержневых ящиков происходит их интенсивный износ, механические повреждения, изменение их размеров, что вызывает искажение размеров отливок. Вследствие деформации крепежных болтов между моделью и плитой образуется зазор, который заполняется частицами песка, что вызывает интенсивный износ поверхности модели, соприкасающейся с плитой (см. 8.3. § 2).

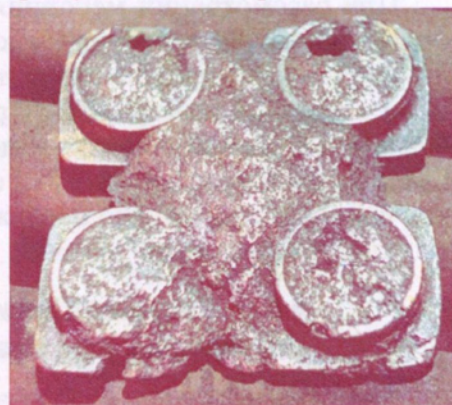


Рис. 8.6.4. Отливка «Крышка» с обвалом центральной части формы

Обвал центральной части формы отливки «Крышка» представлен на рис. 8.6.4. Прочность смеси была удовлетворительной, набивка очень плотная. Причина обвала в тесном расположении отливок и литниковой системы, малых уклонах внутренней поверхности моделей, что привело к подрыву болванов и литниковой системы.

§ 4. Затрудненное уплотнение форм

В ряде случаев при уплотнении форм наблюдают слабоуплотненные места, подверженные разрушению при сборке форм или заливке металлом. Существует целый ряд мероприятий, способствующих повышению уплотняемости смеси.

1. Изменение конструкции отливки или расширение места для свободного уплотнения формовочной смеси.
2. Использование в составе смеси вспомогательных добавок, повышающих текучесть и другие свойства смеси. К таким веществам можно отнести [48]:
 - **поверхностно-активные вещества ДС-РАС и контакт Петрова.** Они уменьшают вязкость глинисто-угольной суспензии и повышают текучесть смеси;

- **понижитель вязкости ПФЛХ.** Повышает прочностные свойства смеси, увеличивает текучесть, снижает вязкость глинисто-угольной суспензии;
 - **крепитель КО.** Повышает текучесть, придает смеси повышенные противопригарные свойства;
 - **битум.** Обеспечивает противопригарные свойства и значительно увеличивает текучесть;
 - **сульфитно-спиртовая барда.** Повышает текучесть смеси и увеличивает её противопригарные свойства;
 - другие вещества отечественного и зарубежного производства.
3. Прессовое уплотнение форм целесообразно осуществлять одновременно с вибрационным. В этом случае песчинки смеси совершают колебания с малой амплитудой и большой частотой, трение между ними и о боковые стенки опоки уменьшается. В результате прессование происходит эффективнее, смесь уплотняется равномернее. При этом можно использовать более высокие опоки.
 4. При изготовлении форм встряхиванием наибольшее уплотнение получают слои смеси, прилегающие к поверхности модели. Ближе к поверхности формы слои смеси менее уплотнены. Для доуплотнения смеси используют ручную подтрамбовку, допрессовку прессовой колодкой. Иногда при заполнении опоки смесью используется вибрация стола для увеличения подвижности формовочной смеси.

При рассмотрении мероприятий можно использовать комбинацию текучей формовочной смеси с эффективным способом формообразования.

На рис. 8.6.5 представлена отливка «Колесо» с обвалом верхней части формы. Прочность смеси была удовлетворительной, набивка недостаточной. Причина обвала в недостаточной набивке смеси и заливке формы с большой высоты, что послужило дополнительной причиной обвала смеси у стояка.

§ 5. Перемещение форм на потоке производства

Важными этапами в образовании обвалов являются операции спаривания полуформ и транспортировка собранных форм на участок отливки.

При конвейерном способе производства отливок возможно спаривание полуформ с перекосами, закусыванием штырей и последующими рывками, либо с быстрым накрытием верхней полуформы, неизбежно приводящей к соударению опок. Эти действия могут привести к обвалам. Установка собранных форм на конвейер должна производиться без ударов.

Оборудование для подъема и спаривания полуформ, транспортировки и установки форм на конвейер должно быть не изношенным и проходить систематический контроль на пригодность к использованию.

К небрежной транспортировке следует отнести и встряхивание формы при движении конвейера, падение или соударение накладываемых грузов на форму.



Рис. 8.6.5. Отливка «Колесо» с обвалом части болвана



Рис. 8.6.6. Фрагмент отливки «Колесо» с земляной раковинкой от обвала (увеличено)

Причиной обвала могут быть:

- сильная вибрация от близлежащих встряхивающих формовочных машин и других подобных механизмов;
- взрыв в форме, возникающий при воспламенении газа между формой и подпочной плитой, который может вызвать обвал в соседних формах;
- любое пренебрежение правилами эксплуатации оборудования для сборки и транспортировки опок.

§ 6. Контроль качества формовочной смеси

Залогом успеха при ликвидации разрушения формовочной смеси (размыв, засор, обжим, обвал, подрыв, ужимин и др.) является тщательное выполнение технологических инструкций и контроль качества приготовленной формовочной смеси.

Технологическими свойствами формовочной смеси, оказывающими влияние на вышеперечисленные дефекты, являются влажность, прочность на сжатие в сыром состоянии, прочность на разрыв в сыром состоянии, поверхностная твердость, текучесть, формуемость, осыпаемость.

Влажность — один из главных факторов, определяющих свойства смеси и качество полученной отливки. Оптимальную влажность принято выбирать по максимуму прочности во влажном состоянии. Повышенная влажность является причиной засоров, размывов, подрывов, ужимин, раковин и т. д. (см. 8.4. § 4).

Некачественное перемешивание формовочной смеси приводит к низкой прочности некоторых участков формы. На рис. 8.6.6 представлен фрагмент отливки «Колесо» с обвалом части формы, не имеющей требуемой прочности для сцепления с общей формой.

§ 7. Разное, или Советы бывалого

1. Уменьшенная конусность создает трение болвана об оснастку в процессе протяжки. Если набивка смеси слабая, то болваны выходят без разрушения. При более тугой набивке, например, прессовании при высоком удельном давлении, происходит малозаметный подрыв болвана. При сборке форм и транспортировке происходит отрыв болвана, отливка получается с дефектом.
2. При невозможности выполнения узкого углубления или болвана, из-за разрушения при формовке, необходимо изменить линию разъема или установить стержень.
3. В лабораториях литейных цехов прочностные свойства смеси определяют, в основном, на сжатие сырых образцов. Предел прочности на сдвиг измеряется очень редко, хотя эти свойства смеси очень важны для определения склонности формы к обвалам.
4. Неоднородно уплотненная смесь в форме способствует образованию пониженной прочности. Попытки уплотнить смесь за счет добавок глины не приводят к положительным результатам. Для улучшения набивки следует качественно и равномерно уплотнить смесь и повысить ее формуемость.
5. При наличии большого количества плотно расположенных моделей и невысокой опоки увеличивается риск появления обвалов. Вызвано это увеличением сил адгезии моделей и недостаточным сопротивлением прочностных свойств смеси, хотя ее прочность при испытаниях показывает удовлетворительные результаты. Важную роль здесь играет отношение прочности смеси к площади поверхности контактируемой оснастки. Чем меньше это соотношение, тем выше риск образования обвалов.

Глава 8.7. Подрыв

Описание дефекта

Подрывом называют местный прилив, воспроизводящий по геометрии часть формы, удаленной вместе с моделью. Для беспрепятственного удаления моделей после уплотнения форм их рабочим поверхностям придают формовочные уклоны, а поверхности моделей тщательно обрабатывают.

При изготовлении форм модели присыпают либо опрыскивают разделительным составом. Тем не менее, при извлечении моделей к ним пристаю комочки формовочной смеси, что и приводит к появлению местного прилива.

Механизм формирования дефекта

При уплотнении в опоке формовочной смеси происходит плотный контакт поверхности модели со смесью, в результате чего формируется повышенное сцепление формы с моделью. Это проявляется тогда, когда силы связи с моделью превысят силы связи частичек формовочной смеси между собой.

При извлечении модели из опоки часть смеси может остаться на модели, а в форме будет визуально наблюдаться отсутствие этой смеси.

Способствовать образованию подрыва может целый ряд факторов. К ним можно отнести, например, недостаточную прочность формовочной смеси, повышенную прилипаемость ее к модели, излишнее содержание глины, неправильно выбранный материал модели, повышенную температуру формовочной смеси.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§ 1. Формовочные уклоны

Для облегчения выема модели из формы и стержня из стержневого ящика стенки, перпендикулярные к плоскости разъема, делаются с уклонами, величина которых зависит от высоты стенки, материала модели и способа формовки (см. табл. 8.7.1). Достаточный уклон снижает вероятность образования дефекта «Подрыв».

Недостаточные формовочные уклоны способствуют образованию подрывов, в первую очередь на кромке формы. На рис. 8.7.2 представлена отливка «Колесо

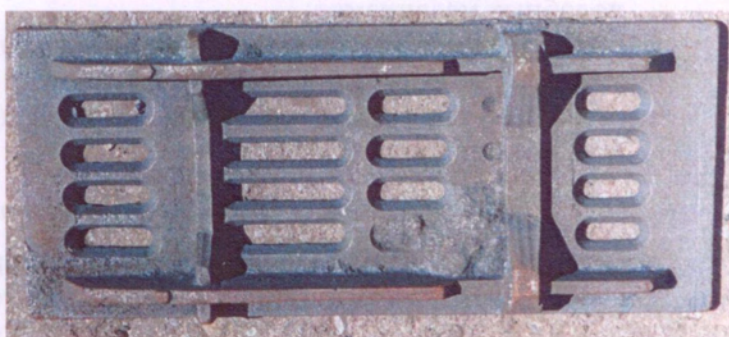


Рис. 8.7.1. Отливка «Решетка» с дефектом «Подрыв»



Рис. 8.7.2а. Отливка «Колесо насоса»



Рис. 8.7.2б. Фрагмент отливки «Колесо насоса» (увеличено)



Рис. 8.7.3. Фрагмент отливки «Крышка стола» с песчаными раковинами

насоса», а на рис. 8.7.3 отливка «Крышка стола» с песчаными раковинами от подрыва кромок формы. При извлечении моделей с недостаточными уклонами образовались трещины в кромках смеси, которые при заливке формы были смыты металлом с образованием песчаных раковин.

Таблица 8.7.1
Формирование уклонов наружных поверхностей модели и стержневых ящиков [52]

Уклон	Измеряемая высота поверхности модели, h, мм	Угол наклона моделей α	
		металлические	деревянные
За счет увеличения размеров отливки	До 20	1°30'	3°
	Св. 20 до 50	1°	1°30'
	Св. 50 до 100	0°40'	1°
	Св. 100 до 200	0°30'	0°45'
За счет одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки	Св. 200 до 300	0°30'	0°30'
	Св. 300 до 500	0°20'	0°30'
	Св. 500 до 800	0°20'	0°30'
За счет уменьшения размеров отливки	Св. 800 до 1600	-	0°20'
	Св. 1600 до 2000	-	0°20'
	Св. 2000 до 2500	-	0°15'
	Св. 2500	-	0°15'

§ 2. Прочность формовочной смеси

Образование подрыва связано с недостаточной уплотняемостью и прочностью формовочной смеси. Под действием собственного веса уплотненной смеси и при наличии дополнительных затруднений (недостаточные уклоны, увеличенная прилипаемость к модели и т.д.) возможно образование подрыва. Для снижения возможности образования подрывов необходимо использовать смеси с повышенной прочностью.

При приготовлении смеси необходимо соблюдать физико-механические и технологические свойства формовочной смеси, установленные в техпроцессе. Увеличение активной части глины в составе смеси повышает прочность и текучесть, снижает осыпаемость и вероятность образования подрывов, ужимин и разрывов. Содержание активной глины в смесях для формовки по-сырому должно быть не менее 8%. Использование облицовочной смеси с высокими прочностными и технологическими характеристиками для формообразования литниковой системы оказывает влияние на ликвидацию подрыва (см. 8.4. § 3).

На рис. 8.7.4 представлен фрагмент отливки «Решетка» с дефектом «Подрыв». Дефект образовался в результате слабого уплотнения смеси. При извлечении модели произошел подрыв слабоуплотненной смеси.

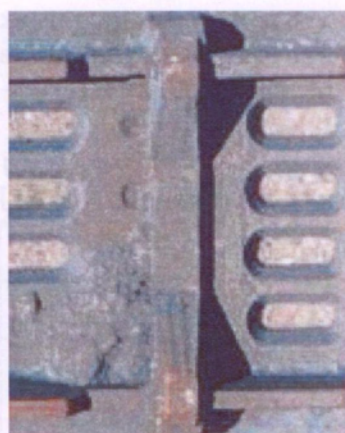


Рис. 8.7.4. Фрагмент отливки «Решетка» с дефектом «Подрыв» (увеличено)

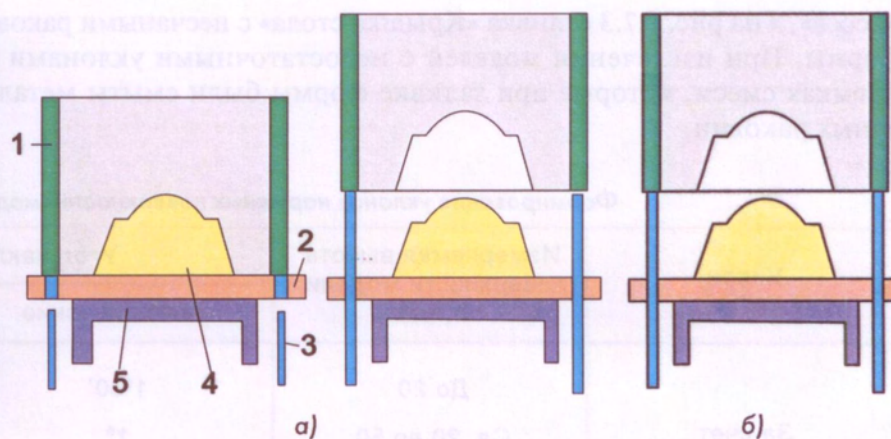


Рис. 8.7.6. Схема штифтового подъема:
а – процесс уплотнения; б – съем опоки;
1 – опока; 2 – подмодельная плита; 3 – штифт для подъема опоки;
4 – модель; 5 – подъемный стол

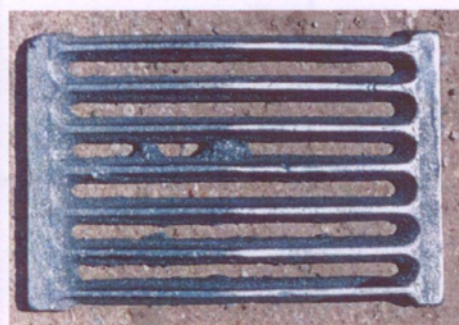


Рис. 8.7.5. Отливка «Решетка печная» с дефектом «Подрыв»

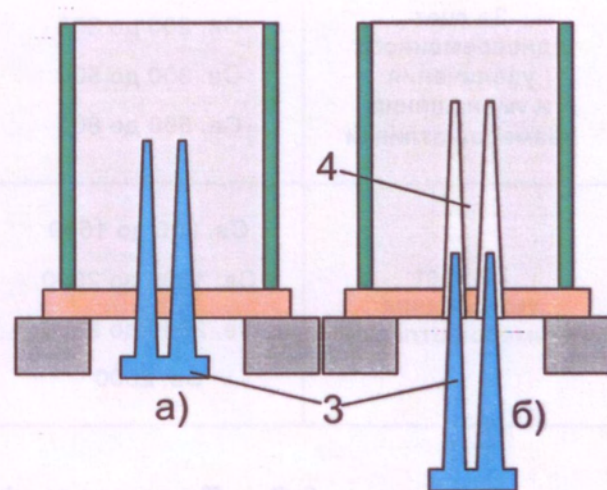


Рис. 8.7.7. Схема удаления модели путем протяжки:
а – процесс уплотнения; б – протяжка;
3 – модель; 4 – форма

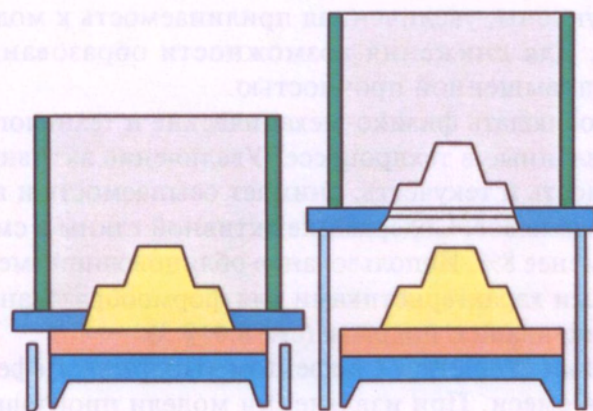


Рис. 8.7.8. Схема протяжки модели со штифтовым подъемом



Рис. 8.7.9. Фрагмент отливки «Крышка стола» с дефектом «Подрыв»

§ 3. Разделительное покрытие

При контакте формовочной смеси с моделью возникает прилипание смеси к модели и образование подрыва. Для исключения прилипания поверхности модели следует обрабатывать противадгезионным покрытием (жидким или припылом).

Из жидких покрытий наибольшее распространение получил керосин с различными добавками (например: керосин — до 100%; мазут — 45–50%; связующие УСК-1 — 10–20%, облегчает удаление модели из формы и улучшает качество поверхности формы). В качестве других добавок вводят машинное масло, олеиновую кислоту и др. В настоящее время существует целый ряд новых разделительных покрытий.

Припылы должны образовывать прочный слой на модели, чтобы исключить возможность его разрушения и прилипания смеси к поверхности модели. При выборе припыла для любой смеси необходимо знать, как он смачивается водой или связующим, входящим в состав смеси. В качестве припылов обычно применяют измельченные до состояния пудры вещества, наносимые (напыляемые) на поверхность моделей, например, минеральные вещества (тальк, кварц), мелкоизмельченный древесный уголь, лycopодий, серебристый графит, мраморную пудру (100 вес. ч) со стеарином (3 вес. ч). Рекомендуется также зола — продукт пережога углеродосодержащих материалов растительного происхождения на открытом воздухе. Кроме этого используются новые припылы, рекомендуемые различными источниками.

На рис. 8.7.5 представлена отливка «Решетка печная» с подрывом. Дефект образовался в результате некачественной очистки модели и изготовления формы без покрытия модели разделительным составом.

§ 4. Точность вытяжки моделей на машинах

По методу извлечения модели из формы, машины подразделяют на следующие типы: со штифтовым подъемом опок, с протяжкой модели, с поворотной плитой, с перекидным столом [1, 33]. На рис. 8.7.6, 8.7.7 и 8.7.8 представлены различные схемы удаления модели из полости форм. Такая вытяжка моделей из формы возможна на машинах при строгом соблюдении параллельности движения механизмов извлечения оснастки и фиксации полужформ.

Причины возникновения дефекта «Подрыв» на разных машинах могут быть следующие:

1. Установочные штыри на подмодельных плитах и втулки на опоках не соответствуют требованиям и превышают допустимые размеры на износ.
2. Изношенное или несоосное (расцентрированное) устройство для протяжки модели — наиболее распространенный источник подрывов. Это должно контролироваться в первую очередь, так как небольшой сдвиг в сторону может привести к подрыву болванов.
3. Переуплотнение встряхиванием может подорвать болваны даже при использовании хорошо отлаженного оборудования и устройства для протяжки.
4. Чрезмерная вибрация может переуплотнить смесь и привести к подрыву болванов или части формы. Недостаточная вибрация создает недостаточную прочность для отделения части формы от модели.
5. В случае плохого закрепления штырей или втулок разрушение формы происходит в результате бокового движения во время съема. Это движение создает усилие сдвига, которое превышает предел прочности формы на сдвиг.

На рис. 8.7.9 представлен фрагмент отливки «Крышка стола» с «подрывом». Причиной возникновения дефекта явилось плохое закрепление штырей, в результате чего возникло боковое движение во время съема, сдвиг подмодельной плиты и подрыв смеси.

§ 5. Прилипаемость формовочной смеси к моделям

Для снижения и ликвидации прилипаемости формовочной смеси к модели необходимо обращать внимание на следующее:

1. Плохо отшлифованные или не покрытые разделительным составом модели способствуют прилипанию смеси и образованию подрыва.
2. Изношенные модели способствуют образованию щелей, пустот, шероховатой поверхности и способствуют налипанию смеси.
3. Плохо очищенные или не обдутые поверхности модельной оснастки приводят ее к загрязнению и повышению эффекта прилипаемости.
4. Неукрепленная модель на плите действует как обратная конусность и способствует подрыву смеси.
5. Горячая смесь повышает склонность формы к деформации сдвига. Кроме этого, от горячей смеси на холодной оснастке образуется конденсат и, как следствие, увеличивается прилипаемость смеси к оснастке. Для исключения влияния горячей смеси на прилипаемость применяют подогрев оснастки до температуры горячей смеси один раз в начале смены. Далее температура оснастки поддерживается горячей смесью.
6. Повышение поверхностной твердости формы, пределов прочности смеси на разрыв и на сдвиг снижают возможность образования подрывов от эффекта прилипаемости, возможных соударений, протяжки моделей с перекосом.
7. Использование формовочной смеси с повышенной влажностью снижает прочность смеси на разрыв и увеличивает прилипаемость смеси к оснастке.
8. Для крупносерийного и массового производства модели должны быть изготовлены стальными или чугунными, прилипаемость смеси к которым ниже, чем к моделям на основе сплавов из цинка и алюминия. Наиболее низкую прилипаемость дают модели из сплавов на медной основе.

Использование формовочной смеси с повышенной влажностью снижает ее прочность на разрыв и увеличивает прилипаемость к оснастке. Это влияние усиливается, если поверхность подмодельной плиты плохо очищена и не покрыта разделительным составом. На рис. 8.7.10 представлена отливка «Маховик» с дефектом «Подрыв». Дефект образовался от использования влажной формовочной смеси и отсутствия разделительного покрытия. После урегулирования качества формовочной смеси и покрытия модели разделительным составом, дефект не возникал.

§ 6. Разное, или Советы бывалого

1. Использование горячей смеси, наряду с образованием светлых газовых раковин, способствует увеличению образования дефектов по подрывам. Такая смесь склонна к хрупкости и ведет к деформациям сдвига элементов формы. Возникающая при этом конденсация влаги создает опасность прилипания смеси к холодной оснастке. В этом случае целесообразно снизить температуру смеси или нагреть модель до температуры смеси.
2. Из свойств формовочных смесей, влияющих на образование подрыва, можно отметить ударную вязкость, прочность на сдвиг, пластичность. Наличие этих свойств в смесях позволяет противостоять удару, грубому манипулированию и протяжке с перекосом. При быстрой протяжке болванов важным является проницаемость смеси. Её можно компенсировать вентами на болване или прорезиненными вставками у основания болвана, которые начинают протяжку.



Рис. 8.7.10. Отливка «Маховик» с подрывом



Рис. 8.7.11. Фрагмент отливки «Корпус вентиля» с дефектом «Подрыв»

3. Щелочи и аналогичные примеси в составе смесей или красок вызывают избыточное прилипание к оснастке. Налипание связующего на оснастку или влага с вдуваемым воздухом увеличивают прилипаемость смеси и подрыв. Изношенные места оснастки (против надувных сопел, рядом с вентилями, у отъемных частей и др.) могут образовывать обратную конусность и подрыв.

Дефект на рисунке 8.7.11 образовался в результате повышенной влажности формовочной смеси, которая увеличивает прилипаемость смеси к оснастке. После снижения влажности смеси дефект отливки не появлялся.

Повышенная влажность формовочной смеси способствует прилипаемости формовочной смеси к оснастке с последующим подрывом и образованием прилива, как показано на рис. 8.7.12. Приведение влажности смеси к требуемой по технологии и качественное нанесение разделительного покрытия ликвидировало рассматриваемый дефект.

Представленная на рис. 8.7.13 отливка «Било» имеет дефект «Подрыв» и причины его возникновения аналогичны описанному выше.



Рис. 8.7.12. Отливка «Корпус вентиля» с дефектом «Подрыв»



Рис. 8.7.13. Отливка «Било» с подрывом формовочной смеси

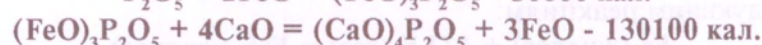
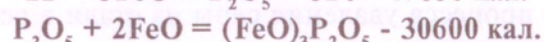
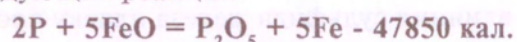
Анализ сплава в процессе плавки позволяет своевременно откорректировать основной химический состав его перед выпуском.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Содержание фосфора в металле

Сталь

Фосфор является основным элементом, участвующим в образовании ликвации. Он ликвует в виде жидких фосфидов, оттесняющимся кристаллизационным давлением к осевой зоне отливки. Фосфор уменьшает растворимость углерода в стали и одновременно снижает температуру эвтектического превращения. Избыточное количество фосфора выделяется в виде тройной фосфидной эвтектики, плавящейся при пониженной температуре. При затвердевании, эвтектика уменьшается в объеме, образуя усадочные раковины, трещины. Для снижения ликвации необходимо уменьшить содержание фосфора в металле до 0,04–0,06%. При кислой футеровке печи удаление фосфора практически невозможно. В основном процессе можно уменьшить содержание фосфора. Удаление фосфора в шлак происходит при протекании следующих реакций:



Для дефосфорации при основной футеровке необходимо соблюдать:

- достаточную концентрацию в шлаке CaO (основность в конце процесса 2,5–3,0);
- «активный» шлак, имеющий высокую жидкоподвижность и достаточное окисление;
- отсутствие перегрева металла.

Надо учитывать некоторое повышение содержания фосфора при раскислении (увеличиваются в металле и шлаке концентрации SiO_2 и Al_2O_3). Для ослабления этого явления следует обработать шлак в ковше смесью CaO и CaF_2 или подать эту смесь по желобу в момент выпуска плавки.

Чугун

На образование ликвации, возникающей при высокой температуре (выше 500°C), оказывает влияние высокое содержание фосфора. Фосфор, подобно кремнию, уменьшает растворимость углерода в жидком чугуне и одновременно снижает температуру эвтектического превращения. Избыточное количество фосфора выделяется в виде тройной фосфидной эвтектики, плавящейся при 953°C. При затвердевании эвтектика уменьшается в объеме, образуя усадочные раковины [33].

При литье в податливые формы чугуна с повышенным содержанием фосфора, увеличивается предусадочное расширение металла, что связано, по-видимому, с малой прочностью затвердевшей корки, которая длительное время находится в твердо-жидком состоянии. При дальнейшем отверждении чугуна, содержащего легкоплавкую эвтектику с пониженной прочностью, возможно появление трещин.

Отрицательное влияние фосфора в нелегированном сером чугуне становится заметным уже начиная с 0,12%.

Для получения малофосфористого чугуна в вагранке с кислым шлаком, необходимо отбирать чистую по фосфору шихту. При введении в вагранку в качестве флюса известня-

Раздел 9. Несоответствия по структуре металла

Глава 9.1. Ликвация

Описание дефекта

Неравномерность химического состава отдельных частей отливки при затвердевании ее в форме называется ликвацией. Рассмотрим формирование ликвации фасонной отливки: более тонкие стенки отливки и наружные слои затвердевают раньше и содержат меньше примесей, чем массивные части и внутренние слои, так как основной жидкий раствор, по мере удаления из него первичных кристаллов, обогащается легкоплавкими примесями.



Рис. 9.1.1. Дефект отливки «Ликвация»

Зональная ликвация возможна при образовании в жидком расплаве тугоплавких соединений с высоким или низким удельным весом и поэтому всплывающих в нем или оседающих на дно формы, а также при образовании легкоплавких эвтектик, которые затвердевают в последнюю очередь в тепловых узлах отливок. В металлах больше всего ликвируют фосфор и сера, а затем углерод. Зональная ликвация тем сильнее, чем медленнее охлаждение отливки. Поэтому она наблюдается главным образом в толстостенных отливках.

Для каждого сплава существуют пределы содержания основных химических элементов, которые обеспечивают получение в отливке определенных физико-механических и технологических свойств. Свойства металла, такие как прочность при повышенных температурах, износостойкость, коррозионная стойкость и др., определяются содержанием легирующих элементов. Это относится, например, к отливкам типа седел клапанов, распределительных валов, тормозных барабанов, головок блока цилиндров, деталей химической аппаратуры, в которых недопустимо отклонение химического состава по основным легирующим элементам.

В химическом составе многих сплавов ограничивают содержание вредных примесей, отрицательно влияющих на структуру, литейные и механические свойства сплавов. При повышении содержания фосфора предел прочности при растяжении металла и стрела прогиба при изгибе уменьшаются. Сера также ухудшает показатели прочности и пластичность металла, что объясняется ослаблением границ зерен, где располагаются сульфиды железа. Кроме того, сера отрицательно влияет на литейные свойства сплавов.

Предпосылки возникновения ликвации

Отклонение химического состава от заданного часто является следствием нарушения технологии плавки и применения шихтовых материалов (чугуна, возврата производства, стали, ферросплавов, чугуна и стального лома, стружки и др.), химический состав которых не уточнен или колеблется от партии к партии.

При расчете шихты следует учитывать угар основных элементов и усвоение легирующих элементов из ферросплавов в процессе плавки. Угар при плавке определяется особенностями плавильного агрегата. Для стабилизации химического состава необходимо строго соблюдать установленный режим плавки, порядок ввода ферросплавов, длительность выдержки металла в тигле и температуру выпуска. Попадание в расплав вредных примесей с шихтой можно предупредить только тщательной проверкой химического состава всех шихтовых материалов.

ка в количестве 7% от веса металла и железной руды в количестве 1% от веса металла степень обесфосфоривания чугуна достигает 30%. Лучшие результаты получаются при выплавке чугуна с температурой 1300–1350°C, при повышении температуры чугуна до 1400–1450°C степень обесфосфоривания уменьшается.

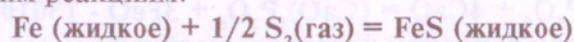
Следует заметить, что процессы обесфосфоривания и обессеривания одновременно протекать не могут. Для лучшего обессеривания надо добиваться снижения FeO в шлаке и максимального повышения температуры. Для лучшего обесфосфоривания надо добиваться повышения содержания FeO в шлаке, не допуская повышения температуры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

§2. Содержание серы в металле

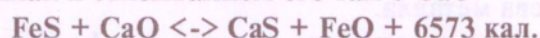
Сталь

Неравномерное распределение химических элементов по высоте и сечению отливок отрицательно сказывается на свойствах стали и на качестве отливок. Повышенная концентрация серы не только отрицательно сказывается на свойствах стали, но, в некоторых случаях, приводит к разрушению отливок в процессе их изготовления или эксплуатации. Для сложных корпусных и толстостенных отливок концентрацию серы целесообразно ограничивать в пределах 0,03–0,035% [22, 25].

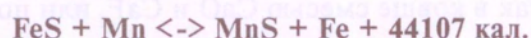
Сера, соединяясь с железом, образует легкоплавкий сульфид железа FeS. Для нейтрализации отрицательного влияния сульфида железа плавку проводят в присутствии марганца и кальция. Течение процесса удаления серы из стали в основном процессе можно проследить по следующим реакциям:



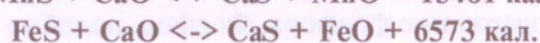
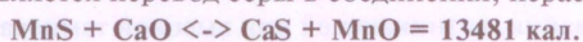
FeS находится как в металле, так и в шлаке. Для сталеплавильных процессов имеют значения сульфиды: FeS, MnS и CaS. Удаление серы из металла заключается в переводе FeS и MnS из металла в шлак и связыванием его там с CaO:



При переводе серы из металла в шлак большое значение имеет содержание её с марганцем:



MnS менее растворим в металле, чем FeS и легче растворим в шлаке. Поэтому для обессеривания осуществляется перевод серы в соединения, нерастворимые в металле:



Для протекания этих реакций в нужном направлении необходимо иметь в шлаке достаточное количество известки (CaO), обновлять, по мере необходимости, шлак, насыщенный CaS (удалять и наводить новый путем подачи известки и боксита или плавикового шпата CaF₂), поддерживать высокую температуру металла, иметь «активный» шлак, проводить качественно период «кипения» металла (хорошее перемешивание металла, облегчение условий взаимодействия металла со шлаком). При кислой футеровке печи дефосфорация и десульфурация практически невозможны.

Чугун

На образование ликвации, возникающей при высокой температуре, оказывает влияние повышенное содержание серы. Сера, присутствующая в чугуне в виде сульфидов, богатых железом, или в составе тройной эвтектики, тормозит графитизацию. При этом снижаются механические свойства из-за образования на границах зерен хрупкой эвтектики,

а также ухудшаются литейные свойства чугуна. В результате в отливке может возникнуть эффект «красноломкости», т.е. появление трещин от напряжения в горячем состоянии [33].

Нейтрализация влияния серы на свойства чугуна достигается за счет взаимодействия сульфида железа и марганца. При соотношении марганца к сере, равном пяти, сера, в основном, находится в виде сульфидов марганца, не влияющих на графитизацию. Сера попадает в вагранку с топливом, флюсами и металлом (особенно с рассыпной стружкой).

Для уменьшения серы следует увеличить расход известняка (35–50% от веса кокса), несколько увеличить содержание в чугуне Mn, в шлаке MnO, применять в шихте зеркальный чугун, а в числе флюсов — марганцевую руду и вести плавку горячо. Чем горячее чугун, тем меньше в нем будет серы.

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

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

§3. Анализ чугуна в процессе плавки

Для анализа чугуна в процессе плавки необходимо знать:

- 1) наибольшее влияние на свойства чугуна и качество отливок оказывает зональная ликвация элементов. Наибольшую склонность к зональной ликвации в сером чугуне имеют углерод, сера и фосфор;
- 2) большая ликвирующая способность углерода наблюдается в крупных отливках с большой толщиной стенок, для которых характерна малая скорость охлаждения. Наиболее заметно ликвация углерода проявляется в чугуне с высоким содержанием углерода и кремния;
- 3) при кристаллизации чугуна, содержащего значительное количество фосфора (ок. 0,15%), образуется фосфидная эвтектика вследствие склонности фосфора к межкристаллитной ликвации. В результате низкой температуры затвердевания фосфидной эвтектики, она иногда выжимается на поверхность металла или в газовые раковины в процессе усадки металла (в виде фосфидного «выпота»);
- 4) при наличии в чугуне магния и достаточного (>0,08%) содержания серы наблюдается зональная ликвация серы. Образующийся сульфид магния имеет небольшой удельный вес и всплывает на поверхность отливки, в связи с чем концентрация серы на поверхности отливки возрастает;
- 5) для выявления зональной ликвации используются следующие методы:
 - химический — взятие проб в виде стружки из различных точек отливки и их химический анализ. Этот метод дает грубую, но количественную оценку ликвации;
 - металлографический — травление микроструктуры. Зоны скопления примесей травятся интенсивнее, чем чистые, и приобретают более темный цвет. Этот метод дает качественную, образную, охватывающую все сечения отливки, оценку;

- 6) в современных условиях химический анализ осуществляется экспресс-методом с помощью прибора квантометра, позволяющего за одну — три минуты определить содержание пяти основных элементов и более.

§4. Угар элементов при плавке

Отклонение химического состава от заданного часто является следствием нарушения технологии плавки и применения шихтовых материалов (чугуна, ферросплавов, чугуно-го и стального лома, стали, стружки и др.), химический состав которых не уточнен или колеблется от партии к партии [48, 49].

При расчете шихты следует учитывать угар основных элементов и усвоение легирующих элементов из ферросплавов в процессе плавки. Угар при плавке определяется особенностями плавильного агрегата (см. таблицу 9.1.1).

Таблица 9.1.1
Изменение химического состава чугуна при плавке

Элементы	Угар элементов в % от содержания их в шихте			
	Вагранка с кислой футеровкой		Дуговая эл. печь, кислая футеровка	Пламенная печь
	Холодное дутье	Горячее дутье		
углерод	в зависимости от условий плавки	в зависимости от условий плавки	5–10	10–30
кремний	10–35	10–(10)	нет	20–50
марганец	15–40	20–30	15–20	25–60
фосфор	не изменяется	не изменяется	не изменяется	не изменяется
сера	(-25)–(100)	(-10)–(50)	до 30	до 20
хром	15–30	10–20	15–30	10–25
никель	до 10	до 5	до 10	до 10
медь	до 10	до 5	до 10	до 15
молибден	до 10	до 5	до 10	5–20
титан	20–50	30–60	30–60	30–60

Для стабилизации химического состава необходимо строго соблюдать установленный режим плавки, порядок ввода ферросплавов, длительность выдержки металла в тигле и температуру выпуска. Попадание в расплав вредных примесей с шихтой можно предупредить только тщательной проверкой химического состава всех шихтовых материалов.

Анализ сплава в процессе плавки позволяет своевременно откорректировать основной химический состав его перед выпуском.

§5. Ввод и плавка ферросплавов

Чугун

В качестве информации по установленным режимам плавки и порядку ввода ферросплавов рекомендуется следующее:

- 1) получение чугуна заданного качества достигается систематическим контролем:
 - за количеством, химическим составом и состоянием поверхности загружаемых в вагранку шихтовых материалов, дозирование которых осуществляется с помощью весов;

- за уровнем шихты в вагранке, что исключает возможность его понижения ниже порога загрузочного окна. Контроль осуществляется с помощью приборов радиоактивного и лазерного типов;
 - за давлением и расходом подаваемого в вагранку воздуха с помощью U-образных манометров и сопел, манометрических датчиков;
 - за температурой отходящих газов, которая не должна превышать 300–400°C с помощью термоэлектрических пирометров;
- 2) во время плавки чугуна в вагранке происходит изменение химического состава составляющих шихты:
- выгорание кремния (на 15%) и марганца (на 20%);
 - увеличение количества серы и углерода (поступающих из кокса);
 - образование шлака. Шлак оказывает существенное влияние на характер плавки и свойства получаемого в вагранке чугуна;
- 3) для удаления серы, которая является вредной примесью в чугуне, полученный в вагранке расплав обрабатывается кальцинированной содой, карбидом кальция;
- 4) для повышения механических свойств расплав серого чугуна подвергают модифицированию — обработке ферросилицием, магнием, его сплавами и другими модификаторами. Ферросилиций (75%-ный) мелкими зёрнами в количестве 0,1–0,6% от массы обрабатываемого расплава ссыпают из вибрирующего совка в жёлоб, по которому выдаётся из вагранки расплавленный чугун;
- 5) контроль качества полученного в вагранке чугуна включает:
- определение химического состава. В современных условиях он осуществляется экспресс-методом с помощью прибора квантометра, позволяющего за 1–3 минуты определить содержание более пяти элементов;
 - установление показателей механической прочности чугуна (предела прочности при изгибе, твёрдости);
 - определение литейных свойств чугуна по технологическим пробам: спиральной — для определения жидкотекучести, клинообразной — для установления склонности к отбелу.

§6. Шихтовые материалы для выплавки металла

Шихта для основного скрап-процесса мартеновских печей состоит из 55–70% скрапа и 30–45% чугуна. Подборка скрапа должна осуществляться из материала с низким содержанием серы и фосфора, поскольку удаление последних из расплава металла сопряжено со значительными затратами. Для шлакообразования загружают 4–10% известняка, 0,6–1% боксита и до 3% железной руды.

Удаление фосфора происходит начиная с первого окислительного периода плавки, при котором образованный восстановлением железа фосфорный ангидрид P_2O_5 связывается в шлаке в прочные химические соединения $(CaO)_4 \cdot P_2O_5$ и $(CaO)_3 \cdot P_2O_5$.

Удаление серы происходит при восстановительном периоде плавки с наличием свободной CaO в шлаке, высокой температуре процесса и низким содержанием FeO в шлаке, что достигается скачиванием старого и наведением нового шлака. В кислом мартеновском процессе, содержащиеся в металлической шихте сера и фосфор не участвуют и целиком остаются в стали. Поэтому шихта для кислого процесса должна быть с малым содержанием этих примесей.

При плавке в кислых дуговых электропечах шихта состоит главным образом из «чистых» по сере и фосфору стального лома и скрапа с небольшой добавкой чугуна — до

5%. Основной процесс в дуговой электропечи отличается от кислого тем, что позволяет удалять из металла фосфор и серу.

§7. Рафинирование стали

Рафинирование стали, т.е. очищение расплава от вредных примесей (в том числе от фосфора и серы) и газов происходит в два периода плавки.

В первый период плавления полностью окисляется кремний, частично марганец и фосфор, содержащийся в передельном чугуна, и происходит образование шлака. При выплавке углеродистых сталей, содержание углерода сразу же после расплавления не должно превышать более чем на 0,3% допустимое содержание углерода в готовом металле. Если углерода содержится меньше, то в печь вводят соответствующее количество передельного или зеркального чугуна.

К моменту полного расплавления металла образуется шлак из оксидов металлической части шихты, флюсов (известняк, боксит), материала пода и кладки печи. Образование шлака до полного расплавления способствует ускорению процесса дефосфорации, обессеривания, кипения ванны. Для этого в печь на 15–40 мин до полного расплавления стали вводят такое количество извести и боксита, чтобы основность шлака CaO/SiO_2 составляла 1,5–2,0. Такой шлак состоит на 30–35% CaO , 18–25% SiO_2 , 10–15% FeO . Расплавленный шлак скачивают из печи для снижения содержания фосфора в стали, после чего наводится новый шлак нормальной основности ($\geq 40\% \text{CaO}$ и $\leq 20\% \text{SiO}_2$) из свежесожженной извести и боксита.

Второй период. По окончании наведения нового шлака ванну переводят в режим «чистого кипения», происходящего только за счет кислорода, содержащегося в ванне. При этом постоянно повышают основность шлака, доводя её к моменту окончания кипения до 2,2–3,5. В период чистого кипения в стали увеличивается содержание марганца в результате его восстановления из шлака. Одновременно окисляется углерод со скоростью около 0,25% в час. Чистое кипение способствует очистке металла от растворенных газов и неметаллических включений. В этот период плавки контролируется состав стали и шлака.

После получения в стали требуемого углерода проводят предварительное раскисление, затем окончательное. При выплавке легированных сталей добавки в виде ферросплавов вводят в печь в разное время.

При кислом процессе плавки стали, фосфор и сера не удаляются, поэтому содержание серы и фосфора в шихте должно быть минимальным — ниже на 0,1% допускаемого в отливках.

§8. Направленная кристаллизация металла без зональной ликвации

Направленное затвердевание применяется для получения плотной отливки без усадочных раковин и пористости и для вывода ликвирующих материалов ближе к прибыли, где можно довести их химсостав до уровня требуемого. Характер направленности затвердевания зависит от свойств материала и конфигурации отливки, от положения отливки в пространстве, от места расположения прибылей и питателей, от термофизических свойств формы и холодильников.

Направленное затвердевание достаточно просто определить с помощью геометрического правила вписанных окружностей Хейферса (см. 2.4. §4).

На массивные части отливки для её питания прибыли устанавливаются таким образом, чтобы металл, сохраняющийся в прибыли в жидком состоянии (в том числе и долитый металл для изменения состава ликвационного металла), мог непрерывно поступать в затвердевающие части отливки для компенсации уменьшения их объёма, вызванного усадкой стали.

Наряду с основной функцией питания затвердевающей отливки, прибыль служит также выпором и резервуаром, в которой могут всплывать продукты разрушения стенок литейной формы, засоры, случайно попавшие в форму, и продукты реакций, проходящие в жидкой стали.

Для обеспечения хорошей заполняемости формы тонкие стенки отливки следует располагать в нижних частях формы, по возможности, вертикально или наклонно.

На практике выработаны и другие методы улучшения направленности затвердевания:

- ускорение охлаждения утолщённых частей отливки с использованием наружных и внутренних холодильников, захлаживающих формовочных или стержневых смесей;
- обогревание прибыльных частей отливки с целью замедления их затвердевания по сравнению с питаемыми участками отливки (см. 2.4. §4).

Из дополнительных мероприятий для уменьшения развития зональной ликвации в массивных сечениях крупных отливок эффективными являются следующие:

- доливка в прибыли более чистой, по содержанию ликвирующих элементов, стали (например, доливка стали с содержанием 0,10–0,15% С, $\leq 0,010$ –0,015% S и P);
- засыпка открытых прибылей теплоизоляционными или экзотермическими материалами с малым содержанием ликвирующих элементов;
- максимальное снижение температуры заливки с учетом обеспечения условий заполняемости литейной формы и питания отливки.

§9. Использование внутренних и наружных холодильников

Внутренние холодильники применяют для охлаждения тех частей стальных отливок, для которых невозможно обеспечить полное питание от прибылей. К таким частям относятся: сочленения сопрягаемых стенок и сочленения стенок отливки с рёбрами различного назначения, местные утолщения стенок и др. Используют как удаляемые из тела отливки холодильники, так и сохраняющиеся в отливке.

Наружные холодильники из стали являются одним из эффективных средств регулирования скорости охлаждения отливки во время затвердевания металла в литейной форме. Они обеспечивают направленность затвердевания, предупреждают образование осевой рыхлости в тепловых узлах и др.

Кроме металлических наружных холодильников применяют холодильники из других материалов. К ним относятся хромомagneзит, хромит, магнезит, смесь формовочного песка с чугунной дробью, с металлической стружкой и другие материалы.

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

§10. Технологичность конструкции отливки

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

Глава 9.2. Отбел

Описание дефекта

Отбелом называется состояние структуры отливки из серого чугуна с пониженным содержанием углерода и кремния или повышенным содержанием карбидообразующих элементов: хрома, титана, марганца, ванадия. Он четко выявляется в изломе отливок в виде светлых участков на фоне более темных (от светло- до темно-серого цвета) участков. Отбел обнаруживается в тонких частях отливок или около остроугольных кромок.



Рис. 9.2.1. Фрагменты стенок отливки с дефектом «Отбел»

Предупреждение отбела

1. Для предупреждения отбела чугун в ковше модифицируют добавками ферросилиция, силикокальция, графита. Количество модификатора составляет 0,2–0,8% от веса жидкого металла. Наиболее эффективно модифицирование чугуна при температуре не ниже 1380–1420°C.
2. На образование отбела в особо тонкостенных отливках влияет температура заливки. Снижение температуры заливки чугуна ниже 1400°C часто приводит к образованию отбела.
3. При литье чугуна в металлические формы (кокили) часто возникает отбел, что связано с высокой скоростью охлаждения при кристаллизации сплава. Для предупреждения отбела полость металлических форм окрашивают теплоизолирующими красками и подогревают перед заливкой до температуры 500–600°C.
4. При редком контроле модельной оснастки в производство могут попадать изношенная оснастка и стержневые ящики, которые могут служить формированию отливки с тонкостенными полостями. Это может привести к возникновению отбела.
5. Использование изношенных штырей и втулок опок, деформированных подмодельных плит может привести к появлению отбела. При проектировании литниковой системы следует избегать поступления последнего охлажденного металла в тонкое место отливки.
6. Причиной отбела может быть использование чугуна с низким углеродным эквивалентом. В связи с этим надо стремиться к использованию чугуна (по возможности) с эквивалентом не ниже 4 единиц.
7. Содержание серы выше 0,1% может служить появлению отбела в тонких местах отливки без существенного изменения крупных сечений.

Причины образования и способы ликвидации дефекта

§1. Модифицирование внесением добавок

Для устранения отбела при производстве отливок из серого чугуна применяют графитизирующие модификаторы. Модифицирование целесообразно только при низком со-

держании углерода, кремния и др. графитизирующих элементов или при повышенной концентрации элементов, препятствующих графитизации.

В качестве модификаторов наиболее распространены графитизирующие добавки: 75%-ный ферросилиций, силикокальций (28%Ca, 62%Si, 1,5%Al) и графит. При введении модифицирующих добавок в жидкой чугуна (на жёлоб вагранки или в ковш) увеличивается число зародышей графита, что влияет на характер эвтектической кристаллизации. По сравнению с обычным чугуном модифицированный чугун такого же химического состава в меньшей степени склонен к отбеливанию и образованию междендритного тонкого графита.

При модифицировании можно использовать смесь ФС75 и СК30 в отношении 1:1 или только ФС75. Если необходимо устранить отбел без особого влияния на механические свойства чугуна, можно пользоваться наиболее простым и дешёвым модификатором — чёрным графитом.

На рис. 9.2.2а представлена отливка «Втулка» с отбеленной рабочей поверхностью, а на рис. 9.2.2б — ее увеличенный фрагмент с дефектом «Отбел». Дефект появился в результате низкого содержания углерода и кремния в составе металла. Дефект ликвидирован в результате проведения модифицирования металла графитизирующими модификаторами.

§2. Температура заливаемого чугуна

При нормальном содержании углерода, кремния, марганца и других элементов в сером чугуна при его заливке в форму может получиться отливка, имеющая отбеленные и неотбеленные места. Причина состоит в толщине стенок отливки. В тонком сечении (около 5 мм) может присутствовать отбел, в обычном (около 10 мм) отбела не будет. Для предупреждения отбела чугуна при 1400–1420°C его модифицируют в ковше добавками ферросилиция, силикокальция, графита. Температура заливки чугуна в форму для корпусных автотракторных заливок рекомендуется в пределах 1380°C.

На рисунке 9.2.3 представлена отливка «Крышка корпуса» с отбеленной частью тонкого профиля отливки. Получение дефекта явилось следствием заливки в форму охлажденного металла, который, входя в форму с противоположной стороны тонкого профиля, дополнительно терял температуру, что и повлияло на формирование отбела.

§3. Захлаживающие воздействия на чугун

Скорость охлаждения отливки зависит от ряда факторов. В первую очередь к ним относятся толщина отливки, теплоаккумулирующая способность формы, температура заливки. Повышение скорости охлаждения:

- уменьшает продолжительность кристаллизации;
- увеличивает скорость остывания в твердом состоянии;
- увеличивает переохлаждение и размельчает структурные составляющие.

Чем выше скорость заливки, тем больше вероятность образования отбела. Процессы, происходящие в форме, также влияют на возникновение отбела:

- увеличенное содержание влаги в формовочной смеси (5% и более) может привести к повышенной скорости охлаждения залитого чугуна и образованию отбела в тонких стенках или ребрах отливки. Этому может способствовать конденсат на холодном стержне от горячей формовочной смеси;
- опоки могут оказывать непосредственный отбеливающий эффект на металл, если стенки опок и ребра жесткости расположены слишком близко к полости формы и проводят тепло в процессе затвердевания отливки;



Рис. 9.2.2а. Отливка «Втулка» с дефектом «Отбел» на обработанной поверхности

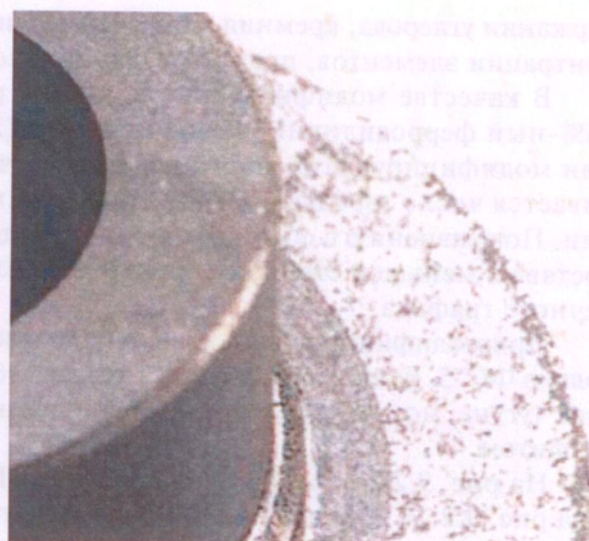


Рис. 9.2.2б. Фрагмент отливки с отбелом (увеличено)

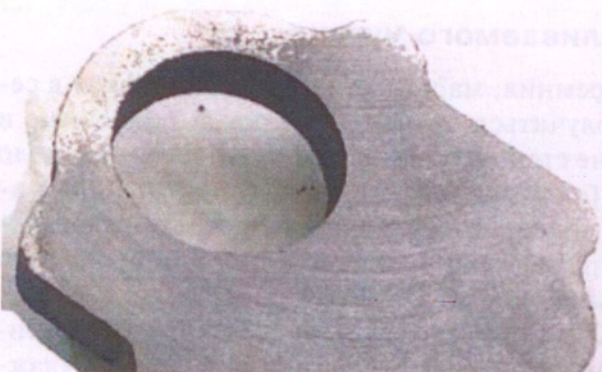


Рис. 9.2.3. Отливка «Крышка корпуса» с дефектом «Отбел»



Рис. 9.2.4. Отливка «Крышка» с отбеленной частью поверхности



Рис. 9.2.5. Отливка «Корпус» с дефектом «Отбел»

- ошибочной практикой является попытка использовать бегуны свыше их мощности или использование изношенных и плохо регулируемых скребков и катков. Для равномерного распределения влаги в формовочной смеси нужно проводить профилактический ремонт бегунов;
- на возникновение отбела могут оказывать влияние близко расположенная к поверхности стержня арматура, не рассчитанные холодильники (обладающие повышенной мощностью), местный избыток покрытия или краски на форме или стержне.

На рисунке 9.2.4 представлена отливка «Крышка» с дефектом «Отбел». Дефект произошёл из-за переувлажненной формовочной смеси и повышенной скорости заливки. На поверхности обработанной отливки видно место подвода и распределения последнего при заливке металла (темный фон) и светлые отбеленные места. Дефект исправлен снижением влажности формовочной смеси и уменьшением скорости заливки металла.

§4. Влияние литниковой системы

Для выбора места подвода металла и конструкции литниковой системы рекомендуется:

- 1) в практике известно снижение отбела за счёт конструирования соответствующей литниковой системы. Это достигается расположением литниковой системы рядом с тонкими стенками, что способствует замедленному охлаждению стенок и формированию их без отбела. Это одновременно можно использовать при необходимости получения отливок с однородной твёрдостью;
- 2) не рекомендуется подводить металл в удалённые тонкие места отливки в последнюю очередь, поскольку холодный металл склонен к быстрому отвердеванию;
- 3) при разработке литниковой системы следует избегать питания тонких сечений через утолщения, особенно вертикальных стенок в верхней полуформе. Если при этом будет производиться заливка чугуна с недостаточной температурой, то возникнет высокая вероятность появления отбела.

На рисунке 9.2.5 представлена отливка «Корпус» с отбеленной поверхностью части отливки, удаленной от места подвода металла. Отливка заполнялась охлажденным металлом, а ее тонкая часть была размещена рядом с толстостенной опокой. Все это повлияло на образование дефекта «Отбел».

Литература

1. Аксенов П.Н. Технология литейного производства. — М.: «Машгиз», 1957. — 663 с.
2. Арсов Я.Б. Стальные отливки. София, 1974. Перевод с болгарского. — М.: «Машиностроение», 1977. — 176 с.
3. Белобров Е.А., Бульштейн Р.И., Ковалев В.И. Применение хромитовых и хромомagneзитовых смесей и покрытий в литейном производстве // Технология, организация и механизация производства (НИИинформтяжмаш). 1976. — №30 с ил.
4. Берг П.П. Формовочные материалы. — М.: «Машиностроение», 1979. — 210 с.
5. Бидуля П.Н. Технология литейного производства. — М.: «Металлургиздат», 1956. — 615 с.
6. Бидуля П.Н. Технология стальных отливок. — М.: «Металлургиздат», 1961. — 352 с.
7. Василевский П.Ф. Технология стального литья. — М.: «Машиностроение», 1972. — 408 с.
8. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки. — М.: «Машгиз», 1960. — 435 с.
9. Вопросы теории литейных процессов. Сборник трудов литейных кафедр и институтов. — М.: «Машгиз», 1960. — 693 с.
10. Воронин Ю.Ф., Парфенов Ю.А., Шешенева А.В. Характерные особенности распознавания и устранения газовых раковин // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. — №12. — С. 7–9, 57.
11. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А., Петрухин А.В. и др. Интегрированная аналитическая компьютерная система снижения дефектности чугунных отливок // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. — №9. — С. 3–6, 57.
12. Воронин Ю.Ф. Влияние окиси железа в смеси для оболочковых стержней на качество отливок гильз цилиндров // Литейное производство. 1974. — №11. — С. 35.
13. Воронин Ю.Ф., Лосев А.Г., Матохина А.В. и др. Моделирование газового режима литейной формы // Литейщик России. 2004. — №4. — С. 35–44.
14. Воронин Ю.Ф., Лосев А.Г., Камаев В.А. и др. Автоматизированная система оптимизации газового режима литейной формы // Литейщик России. 2003. — №12. — С. 39–43.
15. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А., Матохина А.В. и др. Компьютерный «Атлас литейных дефектов. Чугун и сталь» // Литейщик России. 2004. — №1. — С. 31–36.
16. Воронин Ю.Ф., Матохина А.В. Моделирование влияния причин возникновения дефектов на качество отливок // Литейщик России. 2004. — №8. — С. 33–37.
17. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А., Матохина А.В. и др. Автоматизированная компьютерная система «Атлас литейных дефектов. Чугун и сталь» // Заготовительные производства в машиностроении. 2004. — №6 — С. 3–7.
18. Воронин Ю.Ф. К вопросу об определении причин возникновения дефектов отливок // Литейщик России. 2004. — №9. — С. 42–46.
19. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А., Матохина А.В. и др. Компьютерное определение дефекта, причин его возникновения и способы ликвидации // Литейное производство. 2004. — №7. — С. 17–24.
20. Воронин Ю.Ф., Каленова Л.И., Кулишев В.И. Изготовление стержней прогрессивными способами // Литейное производство. 1984. — №4. — С. 14–15.
21. Воронин Ю.Ф., Качановская Л.Д., Никитина В.А., Борсук П.А. Органо-минеральные нетоксичные стержневые смеси // Литейное производство. 1986. — №3. — С. 15.
22. Грузин В.Г. Температурный режим литья стали. — М.: «Металлургиздат», 1962. — 351 с.
23. Горенко В.Г., Яновер Я.Д. Теплоизоляционные материалы в литейном производстве. — К.: «Техника», 1981. — 96 с.
24. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. — Л.: «Машиностроение» (Ленинградское отделение), 1976. — 214 с.
25. Гуляев Б.Б. Литейные процессы. — М. — Л.: «Машгиз», 1960. — 416 с.

26. Дорошенко С.П., Дробятко В.Н., Ващенко К.И. Получение отливок без пригара в песчаных формах. — М.: «Машиностроение», 1978. — 208 с.
27. Ефремов Э.Ф. Контроль модели в металлообработке. — М.: «Машиностроение», 1981. — 200 с.
28. Ильинский В.А., Костылева А.В. Дефекты чугунных отливок (атлас): учебное пособие / ВолгГТУ, — Волгоград, 1995. — 105 с.
29. Клочнев Н.И. Литейные свойства чугуна. — М.: «Машиностроение», 1968. — 132 с.
30. Кожинский Л.И. Предотвращение некоторых видов газовых раковин в отливках // Литейное производство. 1980. — №7. — С. 25–26.
31. Куманин И.Б. Вопросы теории литейных процессов. — М.: «Машиностроение», 1976. — 216 с.
32. Лакедемонский А.В., Кваша Ф.С., Медведев Я.И. и др. Литейные дефекты и способы их устранения. — М.: «Машиностроение», 1971. — 320 с.
33. Литейное производство. Под редакцией Куманина И.Б. — М.: «Машиностроение», 1971. — 319 с.
34. Медведев Я.И. Газы в литейной форме. — М.: «Машиностроение», 1976. — 240 с.
35. Медведев Я.И. Газовые процессы в литейной форме. — М.: «Машиностроение», 1980. — 197 с.
36. Мухоморов И.А. Классификация и причины возникновения газовых раковин в чугунных отливках // Литейное производство. 2002. — №8. — С. 28–29.
37. Неуструев А.А., Пантюхин В.П., Абрамов Г.Г. и др. Расчет времени охлаждения чугунных отливок в песчаных формах // Литейное производство. 1983. — №10. — С. 16–17.
38. Озеров В.А. и др. Основы литейного производства. — М.: «Высшая школа», 1987. — 304 с.
39. Орешкин В.Д. Основы литейного производства — М. — Свердловск: «Машгиз», 1961. — 326 с.
40. Рабинович Б.В., Воронин Ю.Ф. Оптимизация состава смесей для оболочковых форм // Литейное производство. 1974. — №7. — С. 41–42.
41. Рабинович Б.В., Воронин Ю.Ф. Повышение термостойкости оболочковых стержней // Литейное производство. 1977. — №4. — С. 19–20.
42. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. — М.: «Машиностроение», 1980. — 423 с.
43. Рыжиков А.А. Технологические основы литейного производства. — М.: «Машгиз», 1962. — 527 с.
44. Рыжиков А.А. Теоретические основы литейного производства. — Москва — Свердловск: «Машгиз», 1961. — 447 с.
45. Самохоцкий А.И., Парфеновская Н.Г. Технология термической обработки металлов. — М.: «Машиностроение», 1976. — 311 с.
46. Сварика А.А. Покрытие литейных форм. — М.: «Машиностроение», 1977. — 216 с.
47. Синчугов А.Ю., Черненко Н.Г., Воронин Ю.Ф. и др. Улучшение податливости песчано-смоляных смесей // Литейное производство. 1987. — №8. — С. 9–10.
48. Справочник по чугунному литью. Под редакцией Гиршовича Н.Г. — Л.: «Машиностроение» (Ленинградское отделение), 1978. — 758 с.
49. Стальное литье. Справочник под редакцией Дубинина Н.Т. — М.: «Машгиз», 1961. — 888 с.
50. Степанов Ю.А., Семенов В.И. Формовочные материалы. — М.: «Машиностроение», 1969. — 157 с.
51. Титов Н.Д., Степанов Ю.Ф. Технология литейного производства. — М.: «Машиностроение», 1988. — 432 с.
52. Чернов Ю.И., Кизилев А.И. Справочник по модельной оснастке. — М.: «Машгиз», 1961. — 407 с.
53. Чугунное литье в станкостроении. Под редакцией Клецкина Г.И. — М.: «Машиностроение», 1975. — 320 с.

Содержание

Введение	3
Классификация дефектов	5
РАЗДЕЛ 1. ГАЗОВЫЕ РАКОВИНЫ	6
Классификатор газовых раковин	6
Глава 1.1. Раковина гладкая, светлая, рассредоточенная, сферической формы, мелкая (2–6 мм)	9
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	9
§ 1. Влажность стержня или формовочной смеси	9
§ 2. Содержание водорода и азота в металле	10
§ 3. Газопроницаемость формовочной смеси и стержня	13
§ 4. Вентиляционные наколы	14
§ 5. Азотистые соединения в составе формовочных и стержневых смесей	14
§ 6. Насыщение металла газом при плавке и заливке	15
§ 7. Газотворные разделительные покрытия	16
§ 8. Влага непросушенного слоя краски	17
§ 9. Подготовка разливочных ковшей	17
§ 10. Простановка горячих стержней в холодную форму или холодных стержней в горячую форму	19
§ 11. Разное, или Советы бывалого	20
Глава 1.2. Раковина гладкая, светлая, локальная, более 6 мм (известна также как «вскип»)	21
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	21
§ 1. Влажность стержня или формовочной смеси	21
§ 2. Газопроницаемость формовочной смеси и стержня	22
§ 3. Вентиляционные наколы	22
§ 4. Длительность выдержки собранных форм	22
§ 5. Газотворные разделительные покрытия	23
§ 6. Влага непросушенного слоя краски	23
§ 7. Температура заливаемого металла	23
§ 8. Металлостатическое давление	24
§ 9. Вентиляция формы и стержня	25
§ 10. Простановка горячих стержней в холодную форму или холодных стержней в горячую форму	27
§ 11. Разное, или Советы бывалого	27
Глава 1.3. Раковина «Пористость подкорковая» (ситовидная пористость), светлая, размером от 2 до 5 мм	30
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	31
§ 1. Содержание водорода и азота в металле	31
§ 2. Влажность стержня или формовочной смеси	31
§ 3. Насыщение металла газом при плавке и заливке	31
§ 4. Температура заливаемого металла	32
§ 5. Простановка горячих стержней в холодную форму или холодных стержней в горячую форму	32
§ 6. Азотистые соединения в составе формовочных и стержневых смесей	33
§ 7. Подготовка разливочных ковшей	33
§ 8. Влияние водорода на ситовидную пористость	33
§ 9. Разное, или Советы бывалого	34
Глава 1.4. Раковина окисленная, внутренняя или поверхностная, сферической формы, более 2–3 мм	35
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	35
§ 1. Направленность потока заливаемого металла	35
§ 2. Длина пути фильтрации газа	36
§ 3. Металлостатическое давление	37
§ 4. Газотворность стержня и формовочной смеси	37

§ 5.	Газопроницаемость стержня и формовочной смеси.....	38
§ 6.	Вентиляционные наколы	41
§ 7.	Вентиляция формы и стержня	42
§ 8.	Захват воздуха	42
§ 9.	Заливка форм металлом	42
§ 10.	Сифонный способ заливки	47
§ 11.	Разное, или Советы бывалого	47
Глава 1.5.	Раковина сферической формы, поверхность с цветами побежалости	49
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	49
§ 1.	Газотворность стержня и формовочной смеси	49
§ 2.	Ремонтный состав стержней	50
§ 3.	Заливка форм металлом	50
§ 4.	Газопроницаемость стержней и формовочной смеси	50
§ 5.	Насыщение металла газом при плавке и заливке	51
§ 6.	Температура заливаемого металла	51
§ 7.	Вентиляция формы и стержня	52
§ 8.	Разное, или Советы бывалого	52
Глава 1.6.	Раковина шлакогазовая, сферической формы, окисленная, возможен желтоватый налет	54
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	54
§ 1.	Выдержка металла для всплытия шлака	54
§ 2.	Разливочные ковши для удерживания шлака	55
§ 3.	Шлакоулавливающая литниковая система	55
§ 4.	Вагранка с копильником	58
§ 5.	Состав шлака с пониженной вязкостью	59
§ 6.	Температура заливаемого металла	60
§ 7.	Снижение содержания шлака в стали	61
Глава 1.7.	Раковина приплюснутой формы (пузыри подкорковые), окисленная, серо-синего цвета, блестящая	62
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	63
§ 1.	Длина пути фильтрации газа	63
§ 2.	Направленность потока заливаемого металла	63
§ 3.	Металлостатическое давление залитого металла	64
§ 4.	Вентиляционные наколы	64
§ 5.	Вентиляция формы и стержня	64
§ 6.	Температура заливаемого металла	66
§ 7.	Заливка формы металлом	66
§ 8.	Газотворность стержня и формовочной смеси	68
§ 9.	Газопроницаемость формовочной смеси и стержня	68
§ 10.	Вентиляция формы через открытые выпоры и прибыли	69
§ 11.	Сифонный способ заливки	70
§ 12.	Толщина корки затвердевшей стали	70
§ 13.	Разное, или Советы бывалого	71
Глава 1.8.	Раковина газоусадочная, матовая, окисленная, неправильной формы, гладко-шероховатая	72
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	73
§ 1.	Место подвода питателей	73
§ 2.	Газотворность стержней и формовочной смеси	75
§ 3.	Ремонтный состав стержней	76
§ 4.	Длительность выдержки собранных форм	76
§ 5.	Вентиляция формы и стержня	76
§ 6.	Температура заливаемого металла	77
§ 7.	Простановка горячих стержней в холодную форму или холодных стержней в горячую форму	78
§ 8.	Заливка формы металлом	78

§ 9. Длина пути фильтрации газа	78
§ 10. Расположение газоусадочных раковин вблизи выступающих частей стержня или формы	79
§ 11. Использование наружных холодильников	79
РАЗДЕЛ 2. ТРЕЩИНЫ	83
Классификация трещин	83
Глава 2.1. Холодная трещина	85
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	86
§ 1. Температура заливаемого металла	86
§ 2. Место подвода питателей	87
§ 3. Наружные и внутренние холодильники	89
§ 4. Легирование чугуна	92
§ 5. Заливка форм металлом	93
§ 6. Обычное и регулируемое охлаждение отливок	93
§ 7. Низкотемпературный отжиг чугуна	95
§ 8. Упрочняющие и охлаждающие рёбра	96
§ 9. Цвет поверхности холодных трещин в чугуне	97
§ 10. Податливость формовочных смесей и стержней	99
§ 11. Технологичность отливок	99
§ 12. Разное, или Советы бывалого	102
Глава 2.2. Трещина термическая	103
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	103
§ 1. Напряжения в отливке	103
§ 2. Очистка отливок от смеси	104
§ 3. Термообработка отливок с массивными прибылями	104
§ 4. Режимы поверхностной и изотермической закалки	105
§ 5. Углерод в подприбыльной части отливки	105
§ 6. Режим отпуска и нормализации отливок	106
§ 7. Нагрев отливок перед резкой или сваркой	107
§ 8. Режимы процессов отжига отливок	107
§ 9. Условия термообработки стальных отливок	108
§ 10. Разное, или Советы бывалого	109
Глава 2.3. Трещина «Разрыв холодный»	110
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	110
§ 1. Технологичность отливки	110
§ 2. Регулируемое охлаждение отливок	110
§ 3. Стабилизирующая термообработка	111
§ 4. Охлаждение отливки	111
§ 5. Углерод и кремний в чугуне	112
§ 6. Легирование чугуна	112
§ 7. Выбивка и транспортировка отливок	113
§ 8. Разное, или Советы бывалого	113
Глава 2.4. Горячая трещина	114
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	114
§ 1. Податливость стержня и формы	114
§ 2. Содержание в чугуне фосфора	115
§ 3. Температура заливаемого металла	116
§ 4. Направленное отверждение отливки	117
§ 5. Содержание серы в металле	119
§ 6. Регулируемое охлаждение отливки	121
§ 7. Содержание углерода и кремния в чугуне	122
§ 8. Препятствие усадке со стороны литниковой системы	122
§ 9. Технологичность отливок	122
§ 10. Усадочные рёбра	124

§ 11. Место подвода питателей	124
§ 12. Трещиноустойчивость стали	124
§ 13. Горячие трещины в отливках из марганцовистых аустенитных сталей	127
§ 14. Условия наименьшей склонности металлов к горячим трещинам	128
§ 15. Температурный интервал образования трещин	129
§ 16. Разное, или Советы бывалого	130
Глава 2.5. Горячий излом	132
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	132
§ 1. Ранняя выбивка отливок	132
§ 2. Условия возникновения горячего излома	133
§ 3. Транспортировка горячих отливок	133
§ 4. Разное, или Советы бывалого	133
РАЗДЕЛ 3. УСАДОЧНЫЕ РАКОВИНЫ	134
Глава 3.1. Раковина усадочная открытая	134
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	134
§ 1. Технологичность отливки	134
§ 2. Направленное затвердевание отливки	135
§ 3. Технологические припуски	135
§ 4. Температура заливаемого металла	137
§ 5. Подвод металла к отливке	138
§ 6. Толщина корки затвердевшей стали	138
§ 7. Содержание фосфора и хрома в металле	139
§ 8. Углеродный эквивалент чугуна	141
§ 9. Наружные холодильники	141
§ 10. Прочность формы	142
§ 11. Прибыли	142
§ 12. Заполняемость форм металлом	143
§ 13. Расположение усадочной раковины	143
§ 14. Разное, или Советы бывалого	144
Глава 3.2. Раковина усадочная закрытая	145
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	146
§ 1. Технологичность отливки	146
§ 2. Направленное затвердевание отливки	148
§ 3. Температура заливаемого металла	150
§ 4. Подвод металла к отливке	150
§ 5. Содержание хрома и фосфора в металле	150
§ 6. Углеродный эквивалент чугуна	150
§ 7. Наружные и внутренние холодильники	151
§ 8. Усадка у стержня	151
§ 9. Толщина корки затвердевшего металла	152
§ 10. Заполняемость форм металлом	153
§ 11. Расположение усадочной раковины	153
§ 12. Разное, или Советы бывалого	153
Глава 3.3. Усадочная пористость	153
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	154
§ 1. Прибыли для подпитки пористых мест	154
§ 2. Направленное отверждение отливки	154
§ 3. Температура заливаемого металла	154
§ 4. Наружные холодильники	154
§ 5. Насыщение металла газами при плавке и заливке	155
§ 6. Температурный интервал кристаллизации стали	156
§ 7. Теплоаккумуляция используемых форм и стержней	156
§ 8. Подвод металла к отливке	157
§ 9. Содержание серы, хрома и фосфора в металле	158

§ 10. Углеродный эквивалент чугуна	159
§ 11. Усадочная пористость отливки	159
§ 12. Разное, или Советы бывалого	161
РАЗДЕЛ 4. НЕСПЛОШНОСТИ В ТЕЛЕ ОТЛИВКИ	162
Глава 4.1. Королек	162
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	162
§ 1. Заполнение формы металлом	162
§ 2. Раздробление струи металла	163
§ 3. Восстановительная атмосфера в форме	163
§ 4. Влага в форме	165
§ 5. Разное, или Советы бывалого	166
Глава 4.2. Шлаковые включения (раковины)	166
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	167
§ 1. Температура заливаемого металла	167
§ 2. Шлакоулавливающая литниковая система	167
§ 3. Выдержка металла в ковше для всплытия шлака	169
§ 4. Разливочные ковши для удерживания шлака	169
§ 5. Вагранка с копильником	169
§ 6. Вязкость шлака	169
§ 7. Снижение содержания шлака в металле	170
§ 8. Разное, или Советы бывалого	170
РАЗДЕЛ 5. НЕСООТВЕТСТВИЕ ПО ГЕОМЕТРИИ	172
Глава 5.1. Коробление	172
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	173
§ 1. Технологичность отливок	173
§ 2. Применение рёбер жёсткости	173
§ 3. Внутренние и наружные холодильники	173
§ 4. Использование модели с ложным изгибом	174
§ 5. Податливость смесей	174
§ 6. Система питания отливки металлом	175
§ 7. Влияние легирующих элементов на коробление отливки	175
§ 8. Выдержка отливок в печи	176
§ 9. Проверка состояния модельной оснастки	176
§ 10. Разное, или Советы бывалого	177
Глава 5.2. Механическое повреждение	177
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	178
§ 1. Отделение питателей от отливки	178
§ 2. Условия нормального охлаждения отливки	178
§ 3. Выбивка и транспортировка отливок	179
§ 4. Работа выбивной решетки	180
§ 5. Влияние легирующих элементов на устойчивость к механическим разрушениям отливки	181
§ 6. Разное, или Советы бывалого	182
Глава 5.3. Искажение размера	182
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	183
§ 1. Новая модельная оснастка	183
§ 2. Состояние модельной оснастки	185
§ 3. Искажение размеров формы при извлечении моделей	186
§ 4. Контроль форм и стержней	187
§ 5. Контроль модельных комплектов в процессе их апробирования и доводки	188
§ 6. Разное, или Советы бывалого	189
Глава 5.4. Смещение	190
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	190

§ 1.	Зазор в центрирующих отверстиях	190
§ 2.	Износ или повреждения штырей и втулок	193
§ 3.	Уклоны и зазоры в знаковых частях	194
§ 4.	Смещение половинок моделей	200
§ 5.	Соединение стержней или их половинок	201
§ 6.	Разное, или Советы бывалого	201
РАЗДЕЛ 6. НЕСЛИТИНЫ И НЕДОЛИВЫ		202
Глава 6.1. Неспай		202
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА		203
§ 1.	Температура заливаемого металла	203
§ 2.	Заливка форм металлом	203
§ 3.	Заполнение формы металлом	204
§ 4.	Образование окисных плен	205
§ 5.	Использование припылов и краски	207
§ 6.	Утонение стенки отливки	207
§ 7.	Вентиляция стержней и форм	208
§ 8.	Жидкотекучесть	208
§ 9.	Подвод металла в отливку	209
§ 10.	Заполняемость форм металлом	211
§ 11.	Разное, или Советы бывалого	211
Глава 6.2. Недолив		214
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА		214
§ 1.	Температура заливаемого чугуна и стали	214
§ 2.	Заливка форм металлом	215
§ 3.	Неплотное прилегание полуформ	215
§ 4.	Неудовлетворительная заполняемость формы металлом	217
§ 5.	Подвод металла в отливку	217
§ 6.	Образование окисных плен	218
§ 7.	Жидкотекучесть	218
§ 8.	Заполняемость форм металлом	221
§ 9.	Разное, или Советы бывалого	222
РАЗДЕЛ 7. ДЕФЕКТЫ ПОВЕРХНОСТИ		223
Глава 7.1. Пригар		223
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА		223
§ 1.	Содержание в формовочной смеси углеродосодержащих добавок	223
§ 2.	Температура заливаемого металла	224
§ 3.	Местный перегрев формы	225
§ 4.	Облицовочные смеси	226
§ 5.	Время простоя собранных форм	228
§ 6.	Противопригарные покрытия	228
§ 7.	Термостойкие смеси	231
§ 8.	Захлаживающие литейные формы	231
§ 9.	Прочность литейной формы	231
§ 10.	Толщина корки затвердевшей стали	232
§ 11.	Заполняемость форм металлом	233
§ 12.	Разное, или Советы бывалого	233
Глава 7.2. Ужимины		234
ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА		235
§ 1.	Формовочные смеси для снижения ужимин	235
§ 2.	Влажность формы	235
§ 3.	Заливка формы металлом	237
§ 4.	Облицовочная смесь	237
§ 5.	Противоужимные риски	238

§ 6.	Упрочняющее покрытие формы	238
§ 7.	Подвод металла	239
§ 8.	Время простоя собранных форм	240
§ 9.	Использование подсушенных форм	240
§ 10.	Толщина корки затвердевшей стали	241
§ 11.	Заполняемость форм металлом	241
§ 12.	Влияние продолжительности течения металла и влажности формы на отслаивание	242
Глава 7.3.	Складчатость	243
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	244
§ 1.	Содержание в смеси углеродосодержащих добавок	244
§ 2.	Газопроницаемость формы	244
§ 3.	Вентиляционные наколы	245
§ 4.	Скорость заливки формы	245
§ 5.	Температура заливаемого чугуна	246
§ 6.	Вентиляция формы и стержней	246
Глава 7.4.	Окисные пленки на стальных отливках	247
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	247
§ 1.	Температура заливаемой стали	247
§ 2.	Выдержка стали в ковше перед заливкой	247
§ 3.	Время заливки стали	248
§ 4.	Сифонный подвод стали	248
§ 5.	Направление потоков стали в полость формы	249
§ 6.	Прибыли прямого питания	249
§ 7.	Восстановительная атмосфера в форме	249
§ 8.	Комплексное раскисление стали	250
§ 9.	Склонность стали к пленообразованию	250
РАЗДЕЛ 8.	ПРИЛИВЫ	252
Глава 8.1.	Залив	252
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	252
§ 1.	Зазоры и уклоны между знаковыми частями	252
§ 2.	Деформация стержня при изготовлении	253
§ 3.	Прогиб смеси в изготовленных формах	254
§ 4.	Коробление оснастки, загрязнение втулок, штырей, лада опок	255
§ 5.	Загрузка и крепление полуформ	255
Глава 8.2.	Распор	257
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	257
§ 1.	Твердость литейной формы	257
§ 2.	Влажность формовочной смеси	258
§ 3.	Поглотитель влаги в смеси	259
§ 4.	Повышение текучести смеси	259
Глава 8.3.	Задир	260
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	261
§ 1.	Зазоры и уклоны в знаковых частях	261
§ 2.	Состояние модельной оснастки	261
§ 3.	Простановка стержней в форму	261
§ 4.	Точность спаривания полуформ	263
Глава 8.4.	Размыв	264
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	264
§ 1.	Скорость заливки формы	264
§ 2.	Конструкция литниковой системы	265
§ 3.	Поверхностная твердость формы	267
§ 4.	Контроль качества формовочной смеси	268
§ 5.	Использование бентонита	270

§ 6.	Термостойкие смеси или изделия	270
§ 7.	Литниковые системы. Зумпф	271
§ 8.	Разное, или Советы бывалого	272
Глава 8.5.	Обжим	274
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	274
§ 1.	Прочность формы	274
§ 2.	Зазоры и уклоны в знаковых частях	275
§ 3.	Противообжимные пояски	275
§ 4.	Состояние модельной оснастки	276
§ 5.	Точность спаривания полуформ	277
§ 6.	Разное, или Советы бывалого	277
Глава 8.6.	Обвал	278
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	278
§ 1.	Прочность формовочной смеси	278
§ 2.	Точность спаривания полуформ	279
§ 3.	Состояние модельно-опочной оснастки	279
§ 4.	Затрудненное уплотнение форм	279
§ 5.	Перемещение форм на потоке производства	280
§ 6.	Контроль качества формовочной смеси	281
§ 7.	Разное, или Советы бывалого	281
Глава 8.7.	Подрыв	282
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	282
§ 1.	Формовочные уклоны	282
§ 2.	Прочность формовочной смеси	283
§ 3.	Разделительное покрытие	285
§ 4.	Точность вытяжки моделей на машинах	285
§ 5.	Прилипаемость формовочной смеси к моделям	286
§ 6.	Разное, или Советы бывалого	286
РАЗДЕЛ 9.	НЕСООТВЕТСТВИЯ ПО СТРУКТУРЕ МЕТАЛЛА	288
Глава 9.1.	Ликвация	288
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	289
§ 1.	Содержание фосфора в металле	289
§ 2.	Содержание серы в металле	290
§ 3.	Анализ чугуна в процессе плавки	291
§ 4.	Угар элементов при плавке	292
§ 5.	Ввод и плавка ферросплавов	292
§ 6.	Шихтовые материалы для выплавки металла	293
§ 7.	Рафинирование стали	294
§ 8.	Направленная кристаллизация металла без зональной ликвации	294
§ 9.	Использование внутренних и наружных холодильников	295
§ 10.	Технологичность конструкции отливки	295
Глава 9.2.	Отбел	296
	ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ ДЕФЕКТА	296
§ 1.	Модифицирование внесением добавок	296
§ 2.	Температура заливаемого чугуна	297
§ 3.	Захлаживающие воздействия на чугун	297
§ 4.	Влияние литниковой системы	299
Литература		300
Содержание		302
Приложение		310

ПРИЛОЖЕНИЕ

СОЗДАНИЕ ТЕХПРОЦЕССОВ, УСТОЙЧИВЫХ К ВОЗНИКНОВЕНИЮ БРАКА ЛИТЬЯ

Раздел I. Условия ликвидации дефектов отливок

Что в первую очередь необходимо знать или уметь литейщикам, которые непосредственно задействованы в производстве литья?

1. **Точное определение разновидностей дефектов отливок.** Почему так остро стоит этот вопрос в производстве? Потому, что неправильно определённый дефект приводит к бесполезной трате времени и средств на проведение экспериментальных работ, завершающихся отрицательным эффектом. Например, мало кто знает, что газовых раковин насчитывается не менее 8 разновидностей, трещин 5 разновидностей и т.д. В связи с этим на заводах, из-за нечёткого представления разновидностей дефектов, иногда газовую раковину от стержней путают с газовой раковиной от влаги или газоусадочную раковину с усадочной и т.д.

2. **Правильная формулировка причин возникновения дефекта.** Дефекты могут возникать как от одной причины, так и от одновременного воздействия нескольких причин. Например, в возникновении земляной раковины от размыва формы повинны:

- заливка металла с большой высоты (более 50 см);
- увеличенная температура заливаемого металла;
- повышенная скорость заливки (по сравнению с расчётной);
- недостаточное уплотнение песчано-глинистой смеси.

В этом случае все причины воздействуют в направлении повышения вероятности возникновения дефекта. Правильным будет проведение анализа воздействия причин и ликвидация тех из них, которые оказывают решающее воздействие на ликвидацию размыва формы.

3. **Выбор эффективного способа ликвидации дефекта.** Решение этого вопроса незначительно, если имеешь чёткое представление о воздействии каждой причины на формирование дефекта. Необходимо выбрать такой способ, который мог бы не допустить возникновения дефекта даже при участии в процессе ряда технологических параметров с отрицательными отклонениями от оптимальной величины. Поясним на примере. В формировании газовой раковины «пузыри подкорковые» приняли участие:

- высокая газотворная способность стержневой смеси;
- низкая газопроницаемость стержневой смеси;
- отсутствие вентиляции стержней и формы.

Имеем три причины, которые взаимно усиливали возникновение дефекта. Если технолог хорошо знает механизм образования рассматриваемой газовой раковины, то он быстро ликвидирует причины её возникновения без коренной переделки технологического процесса. Это также будет рассмотрено ниже.

4. **Моделирование условий возникновения и ликвидации дефектов.** Это очень важный пункт в деятельности технолога, поскольку он выполняется при разработке техпроцесса. Важен он тем, что моделирование позволяет предупредить возможность возникновения дефектов ещё в процессе разработки чертежей. Но для того, чтобы моделировать, необходим определённый набор автоматизированных систем (компьютерных программ).

Такой набор компьютерных программ разработан авторами этой книги, проверен в производственных условиях и внедрён на ряде предприятий России.

В состав набора входят:

- «Экспертная система по определению разновидностей дефектов и причин их возникновения».
- «Атлас литейных дефектов. Чугун и сталь». Содержит причины возникновения дефектов и способы их ликвидации, множество фотографий отливок, графиков, схем, таблиц.
- «Интегрированная аналитическая система по ликвидации дефектов чугунных отливок».
- «Моделирование условий ликвидации возникновения газовых раковин в отливках».
- «Моделирование условий ликвидации усадочных дефектов в отливках».
- «Расчёт литниковых систем» с выдачей рабочих чертежей элементов системы на принтере.
- «Экспертные системы по определению вида дефекта (по его морфологическим, геометрическим, пространственным и другим характеристикам), причин его возникновения и способа ликвидации» — 35 систем на 35 дефектов. Системы поставляются на CD-дисках, позволяют моделировать условия ликвидации дефекта. Стоимость — 1,5–2,5 тыс. руб., в зависимости от дефекта.

В следующих разделах рассматриваются исследования дефектов отливок, выполненные с использованием приведённых компьютерных систем.

Раздел 2. Пример моделирования условий ликвидации газовых раковин в сложных отливках

В настоящем Атласе рассматриваются 8 разновидностей газовых и 3 разновидности усадочных раковин по их характерным признакам. Однако бывают случаи, когда хорошо зная основные признаки и условия возникновения газовых и усадочных раковин, приходится серьезно задумываться при определении и ликвидации аналогичных дефектов.

На ОАО «Альметьевский насосный завод» (АЛНАС) производят глубинные насосы для добычи нефти. Отливки рабочих органов массой до 1,6 кг изготавливают из модифицированного цериевобористого чугуна на формовочных линиях «Disamatic». Сложные стержни изготавливают по горячей оснастке из сухой плакированной песчано-смоляной смеси. К отливкам предъявляют повышенные требования по качеству, в том числе и по раковинам.

При анализе качества отливок, проведенном совместно с главным металлургом Троиным А.В. и начальником ТБ ОГМет Хакимовым И.Ф. отмечено, что значительная доля дефектов приходится на раковины. На рис. 1–4 представлены отливки рабочих органов различных насосов (помеченных номерами 1, 2, 3 и т.д.), имеющие различные по форме, но одинаковые по происхождению газовые раковины.

Отливка рабочего органа 1 (рис.1) изготавливается с использованием небольшого по размеру стержня, при этом давление газа возникает в средней части отливки. В газовой раковине видна застывшая часть заливаемого металла, который не мог слиться с общей массой из-за повышенного газообразования от стержня. Такие явления встречаются не часто и в ряде случаев рассматриваются как «королёк». В связи с окислительной способностью образующегося газа, поверхность раковины покрыта окисной пленкой. На рис. 2 представлена отливка большего размера, но с дефектом, аналогичным рис. 1.

На рис. 3 отливка имеет классическую по форме газовую раковину, отделенную от поверхности отливки тонкой пленкой. На рис. 4а представлена отливка с крупным «пузырем подкорковым», имеющим серо-синий цвет поверхности.

На рис. 4б и 4в представлены фрагменты этой отливки в увеличенном виде для более детального обследования характера дефекта. Дефекты этих отливок имеют одно происхождение — повышенное газовое давление в стержнях из-за отсутствия нормальной вентиляционной системы. Высокое давление газа в стержнях вызвано повышенной газотворной способностью плакированной смеси. Это давление газа в стержнях может быть с успехом нейтрализовано вентиляционной системой, выводящей газ по каналам в стержнях и форме в атмосферу. При хорошей вентиляционной системе в месте выхода газа вспыхивает факел пламени. Работниками ОГМет под руководством начальника ТБ Хакимова И.Ф. была выполнена такая вентиляционная система на ряде отливок, при этом достигнута полная ликвидация возникающих газовых раковин.

Среди забракованных отливок в небольшом количестве были те, на которых имеются раковины, представленные на рис. 5–8. Поверхность таких отливок гладкая, светлая, разветвленная, с большой площадью. Иногда появление таких раковин сопровождается выбросом металла из литниковой системы в воронку (чашу), что именуют «вскипом» металла. Цвет поверхности раковин и их увеличенные размеры свидетельствуют о том, что они образовались от влаги со стороны стержней. При проведенном анализе установлено, что дефекты образовались от попадания на стержни капель воды по причине каких-либо внешних воздействий.

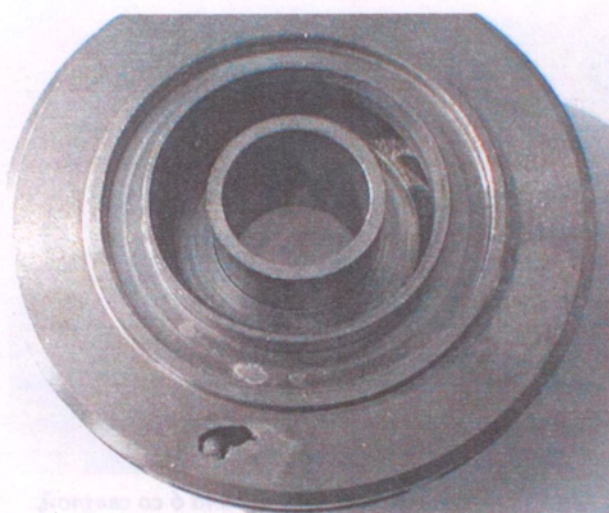


Рис. 1. Отливка рабочего органа 1 с окисленной газовой раковиной

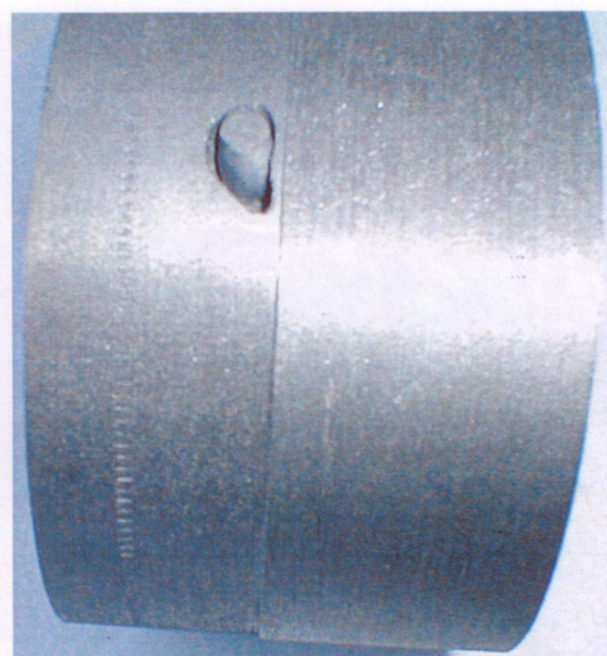


Рис. 2. Отливка рабочего органа 2 с окисленной газовой раковиной

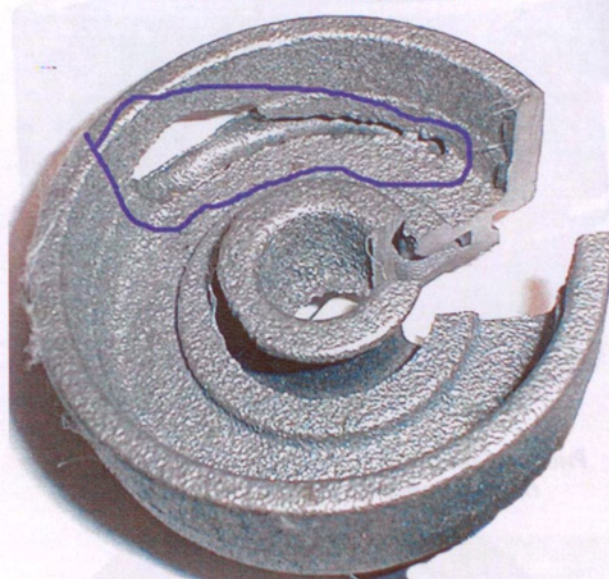


Рис. 3. Отливка рабочего органа 3 с окисленной газовой раковиной «пузырь подкорковый»



Рис. 4а. Отливка рабочего органа 4 с окисленной газовой раковиной «пузырь подкорковый»

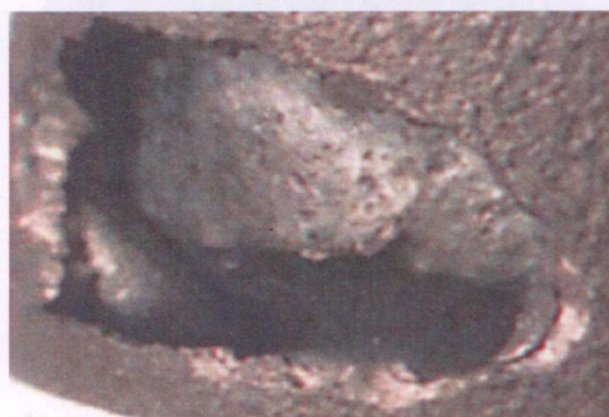


Рис. 4б. Фрагмент дефекта отливки (увеличено)

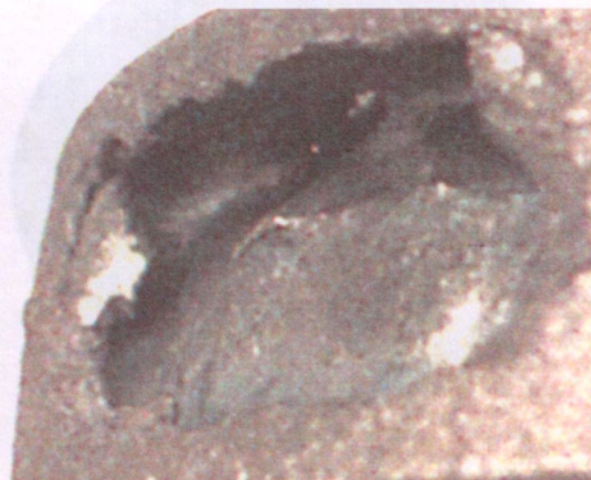


Рис. 4в. Фрагмент дефекта отливки (увеличено)



Рис. 5. Отливка рабочего органа 5 со светлой, гладкой газовой раковиной

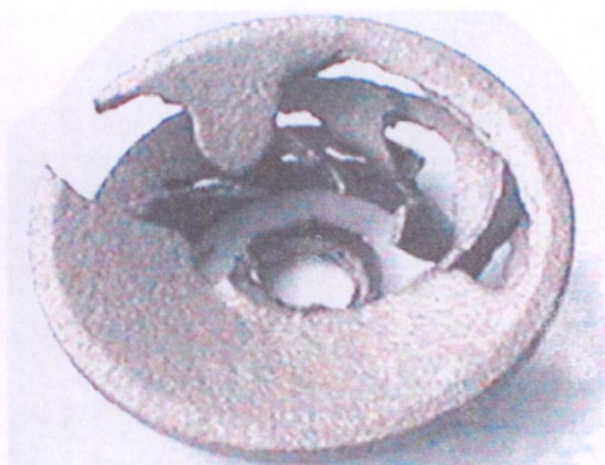


Рис. 6. Отливка рабочего органа 6 со светлой, гладкой, разветвлённой газовой раковиной

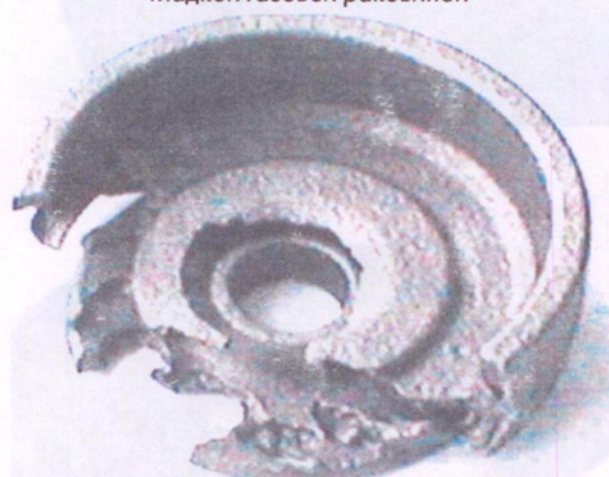


Рис. 7. Отливка рабочего органа 7 со светлой, гладкой, разветвлённой газовой раковиной (произошёл «вскип» металла)



Рис. 8. Отливка рабочего органа 8 со светлой, гладкой, локальной газовой раковиной



Рис. 9. Отливка рабочего органа 7 с окисленной, шероховатой раковиной в месте соединения стенок

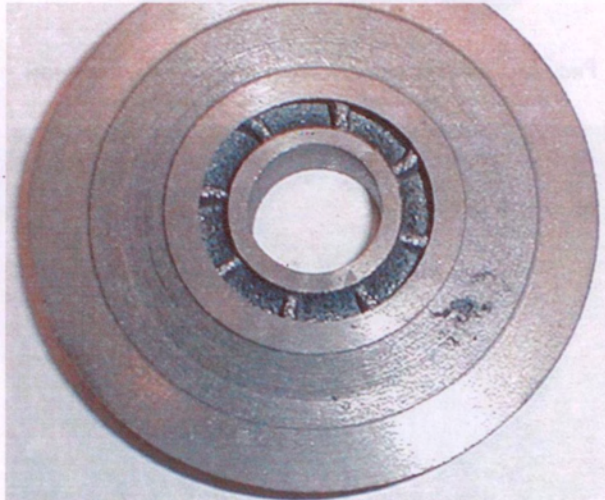


Рис. 10. Отливка рабочего органа 7 с окисленной, шероховатой раковиной на её обратной стороне

Заводские руководители-исследователи Тронин и Хакимов обратили внимание на один характерный дефект отливок рабочего органа 6—7, по форме и поверхности напоминающий усадочную раковину. Некоторые отливки с такими дефектами представлены на рис. 9—11. Раковины имеют шероховатую поверхность серо-синего цвета, вскрываются на обработанной поверхности в различном виде, схожи с усадочными дефектами.

Поверхность раковин показана на рис. 13а и при увеличении на рис. 13б. На них видна шероховатая, но не дендритная структура поверхности, которая обычно бывает на поверхности усадочных раковин. В углубленной части раковины наблюдается отверстие — «свищ», соединяющее раковину со стержнем.

Соединение раковины со стержнем находит подтверждение на рис. 14, где представлена отливка, разрезанная вдоль стержня и показывающая сторону обратную той, на которой располагаются рассматриваемые раковины. На рассматриваемой поверхности видны отверстия, соединяющиеся с полостью раковин. Теперь уже с большей уверенностью можно сказать, что раковина образуется от выделения газа из стержня в процессе выгорания связующего. На завершающем этапе исследования рассматриваемого дефекта проведем анализ сечения отливки, представленной на рис. 12. Цифрой 2 отмечено L-образное соединение стенок, где образуется рассматриваемая раковина. Цифрой 1 от-



Рис. 11. Отливка рабочего органа 6 с окисленной, шероховатой раковиной в месте соединения стенок

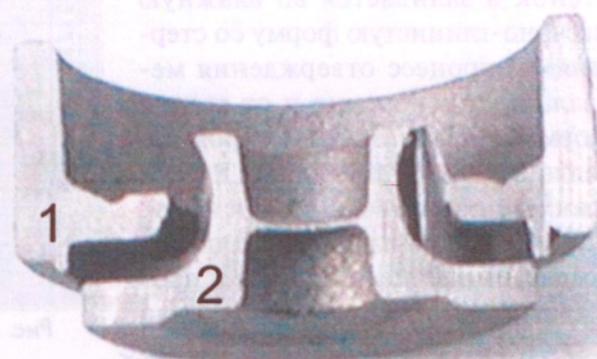


Рис. 12. Сечение отливки рабочего органа 6

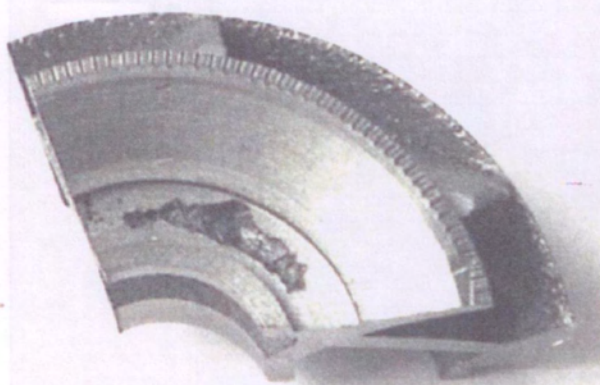


Рис. 13а. Фрагмент отливки рабочего органа 6 с окисленной, шероховатой раковиной

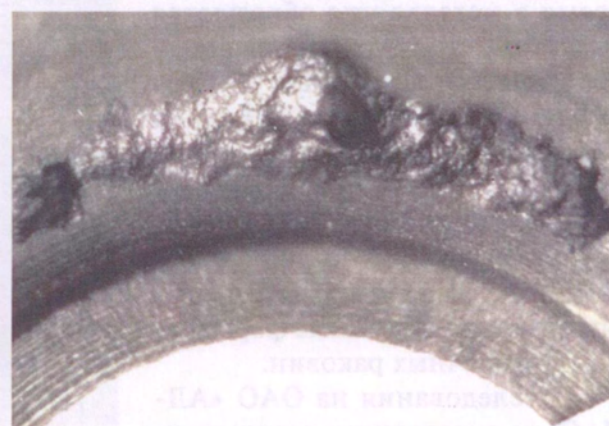


Рис. 13б. Фрагмент дефекта отливки рабочего органа 6 (увеличено)

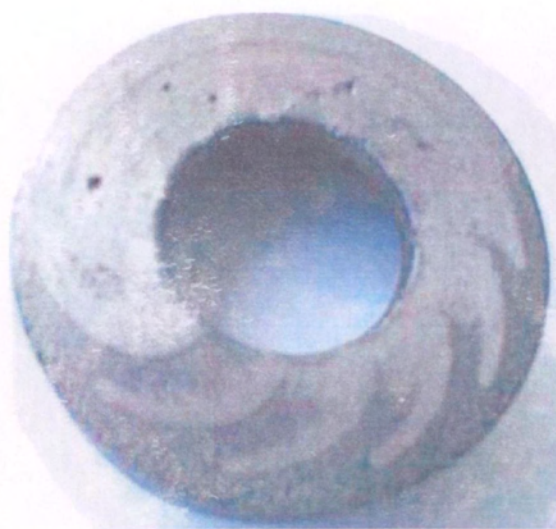


Рис. 14. Отливка рабочего органа 7 со срезом со стороны стержня

нии металлом полости отливки начинается процесс его охлаждения и кристаллизации. Поскольку отливка имеет небольшую толщину стенок и заливается во влажную песчано-глинистую форму со стержнями, процесс отверждения металла идёт ускоренно и от стенок формы идёт образование корок металла. В связи с отсутствием в стержнях вентиляционной системы, выделяющийся из них газ начинает создавать высокое давление и прорывать тонкую стенку отливки со стороны стержней. Это хорошо заметно на рис. 14. Таким образом возникает газовая раковина. В это время в металле уже образуются агрегатные структуры и он напоминает кашеобразную массу. В результате этого газовая раковина имеет не гладкую поверхность, а шероховатую, из-за наличия в металле при пониженной температуре структурных образований, отличающихся от дендритных структур при завершающем цикле формирования усадочных раковин.

Исследования на ОАО «АЛ-НАС» по определению создаваемого в стержнях давления газа и пу-

мечено Т-образное соединение, в котором раковины не образуются. Если следовать теории образования усадочных дефектов, то раковина, в первую очередь, образуется в более массивных частях отливки. При замере термических узлов в соединении стенок установлено, что в Т-образном сечении (1) диаметр вписанной окружности составляет 11 мм, а в L-образном сечении (2) — 8 мм. Если усадочная раковина не образуется в более крупном сечении (1), то в меньшем сечении (2) она образоваться не может. Это окончательно подтверждает то, что раковины образовались из-за выделения газа от стержня.

Исходя из изложенного, предположительный механизм образования раковины можно представить следующим образом: при заполне-

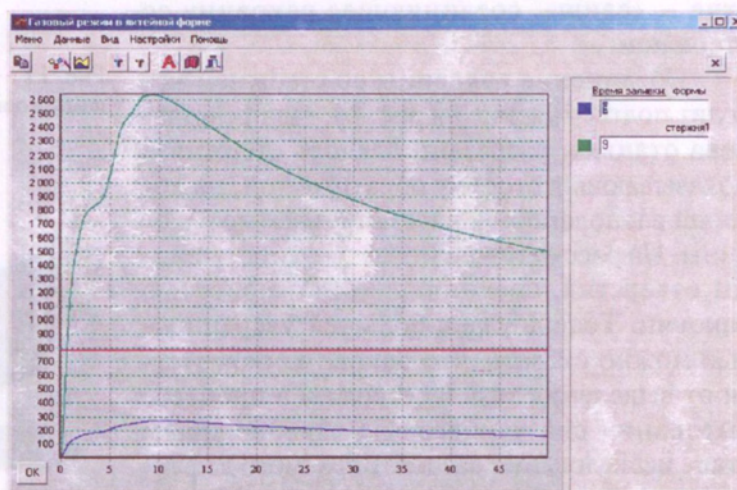


Рис. 15. График газового давления в форме и стержне в процессе заливки и затвердевания металла

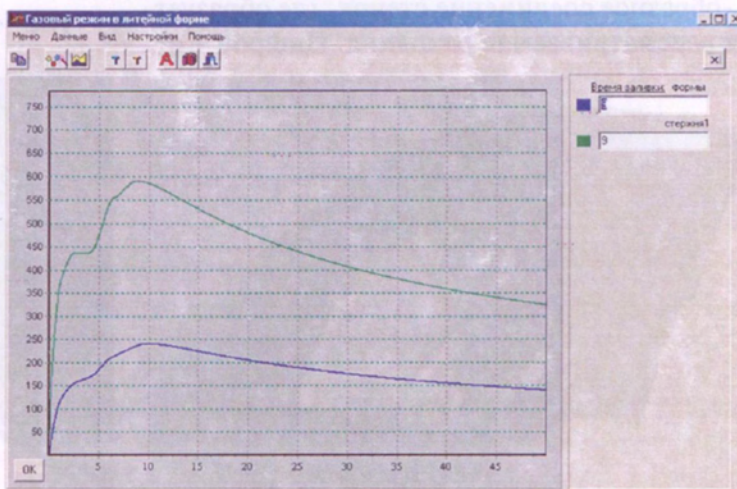


Рис. 16. График давления в стержне после уменьшения длины пути фильтрации газа L

тей его вывода из стержней через форму в атмосферу, проводились с помощью компьютерной программы «Моделирование условий ликвидации возникновения газовых раковин в отливках». При рассмотрении условий возникновения раковин во внимание принималась повышенная газотворность стержневых смесей и отсутствие вентиляционных каналов для вывода газа. Проведённая подготовка и компьютерное исследование газового режима литейной формы с рассматриваемыми отливками дали следующие результаты: используемая для изготовления стержней плакированная смесь имела повышенную газотворность — до $19 \text{ см}^3/\text{г}$ смеси, газопроницаемость стержней была в пределах 120 ед., максимальная длина пути фильтрации газа L из стержня составляла 20 см, время заливки формы с 16 отливками равнялось 9 секундам. Используя приведённые и другие данные по чугунам, смесям, смолам, конструкции отливки и др., было проведено моделирование условий возникновения газового давления в форме и стержне. Результаты моделирования приведены на рис. 15, где на графиках имеются кривые давления газа в форме (нижняя кривая) и стержне (верхняя кривая). Прямой линией красного цвета отмечена граница, выше уровня которой появляется опасность образования газовых раковин. Рассматривая положения кривых на графике можно отметить, что давление газа в форме не вызывает опасности возникновения газовых раковин. В то же время давление в стержне во много раз превышает допустимый предел, круто восходя в сторону высокого давления.

Анализируя полученный график и введенные технологические параметры на момент возникновения дефекта, установили следующее. Образование раковин происходило по вине высокой газотворной способности плакированной смеси и из-за отсутствия вентиляционной системы стержня. Изменять состав смеси для снижения его газотворности не представлялось возможным по условиям необходимости получения качественных стержней в месте формирования лопаток. Следовательно, параметром, который необходимо уменьшать для предупреждения образования газовых раковин, является L (длина пути фильтрации газа). По результатам анализа проведено повторное моделирование состояния газового режима в стержне, причём величина L была уменьшена до 6 см без ухудшения технологии изготовления и сборки стержней. Представленный на рис. 16 график показывает резкое снижение давления газа в стержне, не выходящее за пределы опасной зоны графика.

Проведённые исследования послужили основанием для разработки вентиляционной системы вывода газа из стержней. В результате, вентиляционные каналы были выполнены по линии контакта знаков стержней и формы, а также по линии вертикального разъёма формы с выводом в атмосферу. Использование разработанной вентиляционной системы при изготовлении отливок в течение двух месяцев подтвердило достоверность проведённых исследований и ликвидировало возникновение газовых раковин со стороны стержней. При заливке металла наблюдается свободный выход газа из стержня в виде горящего факела из вентиляционного канала.

Разработанная система ликвидации газовых раковин обеспечила устойчивый технологический режим, поскольку она по своему воздействию нейтрализует вредное влияние высокой газотворности смесей, их недостаточную газопроницаемость.

Раздел 3. Моделирование условий повышения выхода годного стального литья

Одним из показателей при производстве стальных отливок является выход годного литья. Этот показатель во многом зависит от величины прибылей, используемых для подпитки усадочных мест в толстостенной отливке. Поэтому, вопрос снижения массы прибылей без возможного ухудшения качества отливок является актуальным.

Рассмотрим это на примере отливки «Корпус» из легированной стали, представленной на рис. 17. Отливка имеет вес около 30 кг, примерно столько же весят прибыли. Отливки изготавливаются в песчано-глинистых формах (влажность 5–6%), стержни производят из жидкостекольной смеси или песчано-смоляной смеси с отверждением в оснастке. После изготовления отливки, прибыли отрезаются газовыми резаками (рис. 18). Неточная обрезка прибылей иногда приводит отливку к браку по «зарезам». На рис. 19 представлена одна из таких отливок, на обработанной поверхности которой остались следы от зареза металла газовой горелкой. Следовательно, кроме снижения веса прибылей, целесообразно вообще отказаться от их резки. Для этого необходимо прибыли делать уменьшенными, а остатки убирать механической обработкой. Налицо значительная экономия средств.

Для подтверждения изложенного, проведём моделирование условий снижения массы питающих прибылей без ухудшения условий питания отливки. Для этого используем разработанную авторами компьютерную программу «Моделирование условий снижения или ликвидации усадочных дефектов».

На экране монитора (рис. 20) представлено сечение отливки с прибылями на стадии начала процесса затвердевания во влажной форме. Светлой окраской обозначена сталь в жидком состоянии. На этой стадии происходит увеличение корки металла отливки и подпитывание верхних термических узлов фланцев и рабочей плоскости.

На рис. 21 и 22 представлены экраны, иллюстрирующие процессы затвердевания металла в отливке. Наблюдается увеличение толщины стенки отливки и уменьшение доли жидкого металла.

Завершение питания термических узлов отливки показано на рис. 23. В этот момент в прибылях находится ещё достаточно много жидкого металла. Из этого следует, что, приведённая на рис. 17, отливка имеет далеко не оптимальный вариант питания отливок и требует коренной переработки.

В процессе разработки новой системы питания отливки решено боковые прибыли на фланцах заменить на верхние и уменьшить все прибыли в 4 раза. Изменённая таким образом отливка заформована во влажной смеси и залита металлом. Процесс отверждения этой отливки представлен на рис. 24. Здесь видно, что прибыли, заформованные во влажной смеси, не полностью питают термические узлы. Это происходит из-за высокого коэффициента теплоаккумуляции b_{ϕ} влажной формовочной смеси $\approx 1420 \text{ Вт}\cdot\text{с}^{0.5}/\text{м}^{\circ}\text{град}$.

После анализа результатов проведенных исследований, решено изолировать прибыли смесью с низким b_{ϕ} . Для этого используем глиноперлитовую смесь с жидким стеклом, содержащую 40% перлита и с $b_{\phi} = 210 \text{ Вт}\cdot\text{с} / \text{м}^{\circ}\text{град}$. Изготовленные из такой смеси стержни по форме прибыли можно устанавливать на модельную оснастку в процессе формовки и получать форму с теплоизолирующими прибылями.

Процесс отверждения отливки «Корпус» с уменьшенными теплоизолируемыми прибылями можно увидеть на рис. 25 и 26. На рис. 25 начинается процесс отверждения

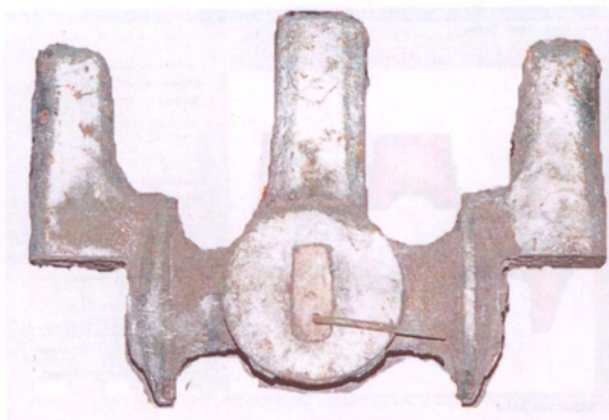


Рис. 17. Отливка «Корпус» с центральной и боковыми прибылями



Рис. 18. Отливка «Корпус» с отрезанными прибылями

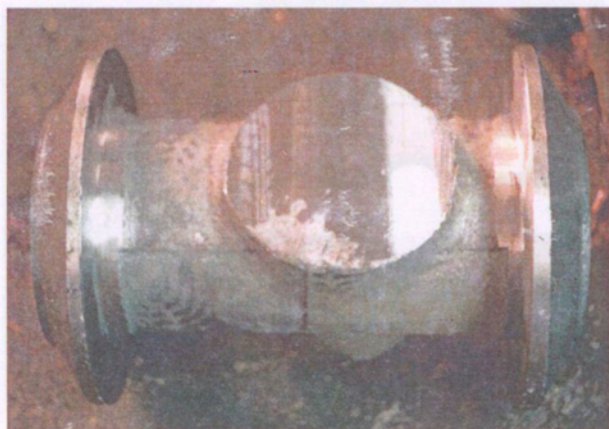


Рис. 19. Отливка «Корпус» с дефектом «Зарез» из-за неправильной отрезки прибылей

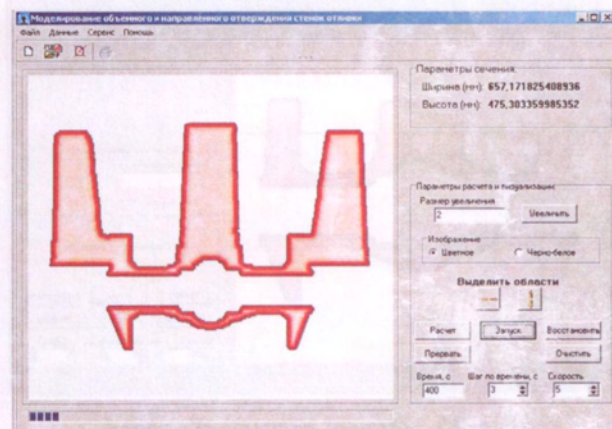


Рис. 20. Модель отливки «Корпус» в начале процесса затвердевания (30 секунд после заливки)

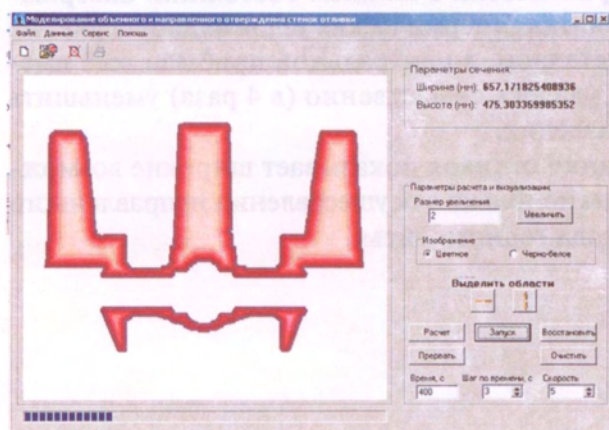


Рис. 21. Модель отливки «Корпус» (90 секунд после заливки)

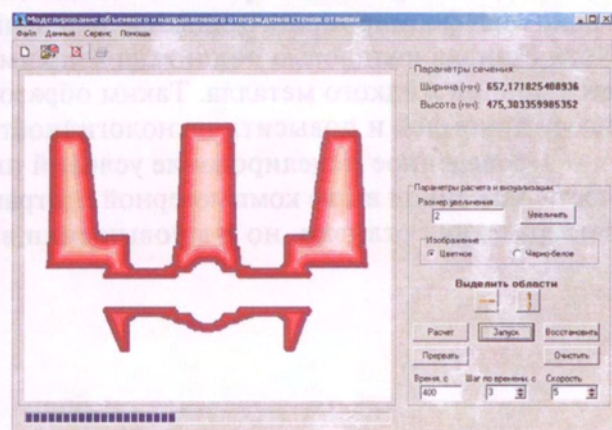


Рис. 22. Модель отливки «Корпус» (160 секунд после заливки)

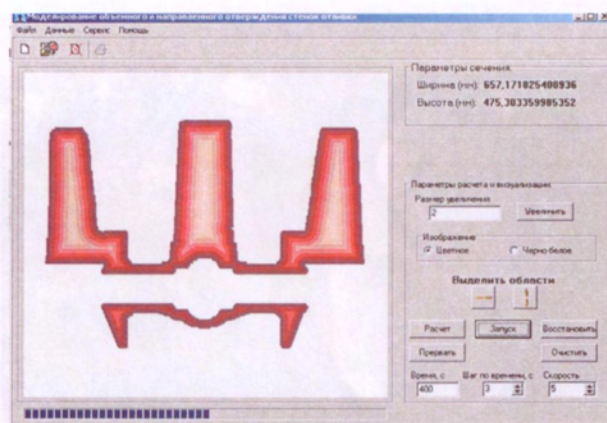


Рис. 23. Модель отливки «Корпус»
(210 секунд после заливки)

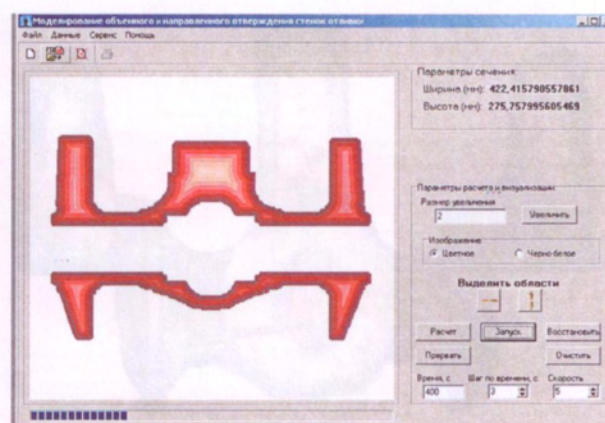


Рис. 24. Модель отливки «Корпус»
с уменьшенными в 4 раза прибылями
(120 секунд после заливки)

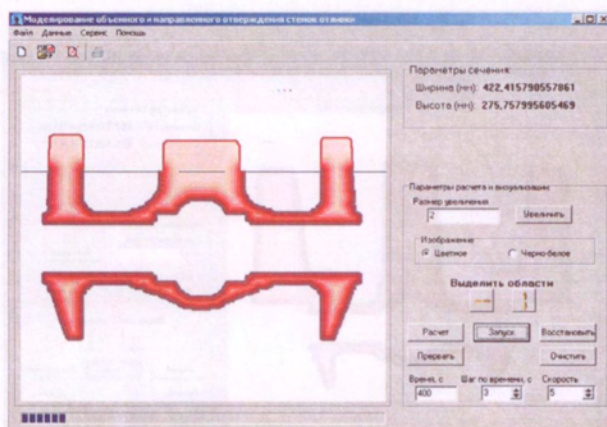


Рис. 25. Модель отливки «Корпус»
с уменьшенными прибылями, находящимися
в теплоизолирующих стержнях
(50 секунд после заливки)

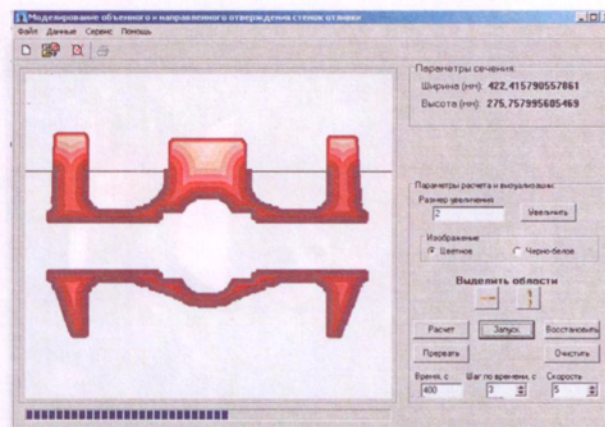


Рис. 26. Модель отливки «Корпус»
с уменьшенными прибылями, находящимися
в теплоизолирующих стержнях
(220 секунд после заливки)

отливки, в то время как прибыли находятся практически в жидком состоянии. Завершающий этап формирования отливки и окончание питания термических узлов видно на рис. 26. Хотя отливка полностью подпитана жидким металлом, в центральной прибыли ещё имеется порция жидкого металла. Таким образом, удалось существенно (в 4 раза) уменьшить массу прибылей и повысить технологичность изделия.

Проведённое моделирование условий питания отливок показывает широкие возможности описанной выше компьютерной программы не только в осуществлении направленного затвердевания отливки, но и в повышении выхода годного литья.

Раздел 4. Устойчивая технология предотвращения размыва влажной песчано-глинистой формы

Размыв литейной формы заливаемым металлом приводит к появлению земляных раковин. Отливка «Корпус», представленная на рис. 17, заливается сталью с повышенной температурой 1580–1600°C. Высота заливки от носка чайникового ковша до заливочной воронки изменялась в процессе заливки форм от 70 до 30 см. В литниковой системе отсутствовали зумпф, дроссель и шлакоуловитель. Всё это способствовало размыву формовочной смеси и занесению её в отливку.

На рис. 27 и 28 представлены фрагменты отливки «Корпус» с земляными раковинами на рабочей поверхности от размыва литниковой системы.

На рис. 29 представлен фрагмент фланца со шлаковыми раковинами. Часть раковин на отливках исправляются заваркой.

При анализе создавшейся ситуации установлено, что размыв формы происходит из-за динамического удара струи металла в нижнюю часть стояка. Отсутствие дросселя, зумпфа и шлакоуловителя способствуют размыву металлом формы и проникновению земли и шлака в отливку. По сложившимся в цехе техническим условиям невозможно уменьшить высоту заливки формы и снизить температуру заливаемого металла. Поэтому предложено в нижней части стояка использовать вставку из отверждённой в сушиле жидкостекольной смеси. Вставка содержит конфигурацию части литниковой системы с углублённым зумпфом, дросселем и отрезком увеличенного по высоте шлакоуловителя.

Производственное использование такой вставки при изготовлении отливок ликвидировало внесение земляных раковин и шлаковых частиц. При этом, колебание высоты заливки металла и его повышенная температура не оказывали влияния на качество литья.

Это пример использования системы, создающей устойчивый технологический процесс, ликвидирующий возможность образования в отливках земляных и шлаковых раковин даже при отрицательном отклонении ряда технологических параметров.



Рис. 27. Фланец отливки «Корпус» с земляной раковиной



Рис. 28. Фрагмент отливки «Корпус» с земляной раковиной на рабочей поверхности



Рис. 29. Фрагмент фланца отливки «Корпус» со шлаковыми раковинами

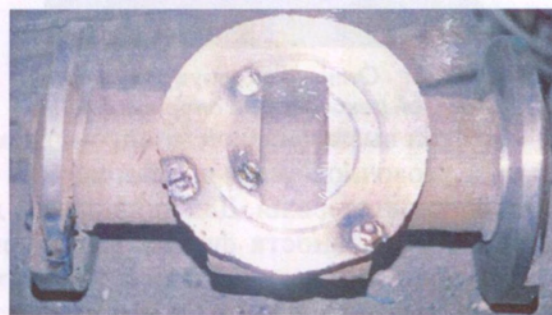


Рис. 30. Отливка «Корпус» с заваренными земляными раковинами

Раздел 5. Примеры ликвидации дефектов отливок

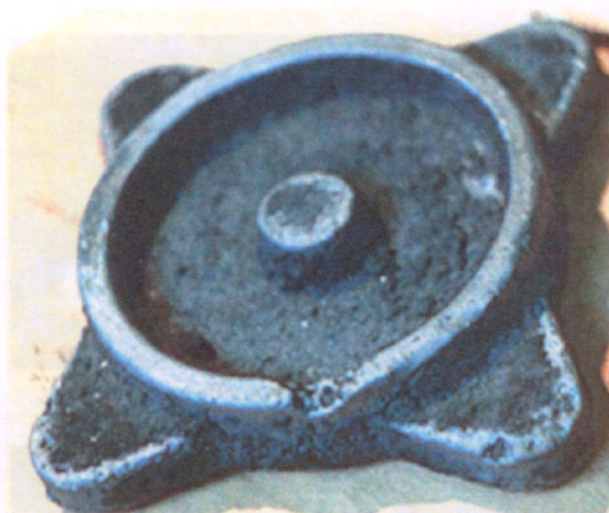


Рис. 31. Отливка «Фланец» с земляной раковиной
Формовочная смесь имела недостаточную прочность из-за низкого содержания активной глины. После освежения смеси и добавления свежей глины подрывы смеси прекратились.



Рис. 32. Отливка «Корпус» с неспаем в верхней части отливки
Дефект вызван повышенной газотворностью стержневой смеси и отсутствием вентиляции. После выполнения вентиляции из стержня дефект не возникал.



Рис. 33. Отливка «Корпус редуктора» с газовой раковиной на опорном фланце
Дефект вызван низкой газопроницаемостью формовочной смеси и повышенной газотворностью стержня. Для ликвидации дефекта на поверхности формы выполнены вентиляционные наколы диаметром 5 мм в количестве 6 шт. на дм^2 и в стержне выполнен сквозной вентиляционный канал.



Рис. 34. Отливка «Корпус опорный» поражена газовой раковиной «Пузыри подкорковые» по фланцу и рабочей плоскости
Дефект вызван отсутствием вентиляционной системы в стержне. После выполнения вентиляционного канала по оси стержня с выводом газа в атмосферу дефект не проявлялся.



Рис. 35. Отливка «Корпус вентиля» с дефектом «Обвал»

Формовочная смесь имела повышенную влажность, в результате чего значительно понизилась прочность смеси, повысилась её прилипаемость к модели и произошел обвал верхней половины формы. После снижения влажности смеси и нанесения на модель разделительного покрытия дефект не появлялся.



Рис. 36. Обратная сторона отливки «Корпус вентиля»

Отчётливо виден обвал со стороны верхней полуформы. Это свидетельствует о профессиональной непригодности формовщика, допустившего такую форму под заливку металлом.



Рис. 37. Отливка «Корпус редуктора» с недоливом верхней части вследствие заливки охлаждённого металла и отсутствия хорошей вентиляции стержня

На повышенное газовое давление в стержне указывает заполненная металлом более высокая часть отливки и наличие газовых раковин на квадратном фланце. Выполнение вентиляции в стержне ликвидировало дефект отливки.



Рис. 38. Отливка «Фланец» с газовыми раковинами по верхней поверхности

При изготовлении отливки использовалась формовочная смесь с влажностью более 8%. В результате испарения влаги и отсутствия вентиляционных наколов на поверхности формы, образовались газовые раковины. Контроль за количеством вводимой влаги в формовочную смесь ликвидировал дефект.



Рис. 39. Отливка «Опора» изготавливалась из смеси с повышенной влажностью, аналогичной используемой в примере на рис. 38

Под стояком отливки имеется крупная газовая раковина, а на поверхности более мелкие, свидетельствующие о «вскипе» металла при его контакте с влажной формовочной смесью. Приведение формовочной смеси к требуемой влажности (4,5%) ликвидировало дефект.

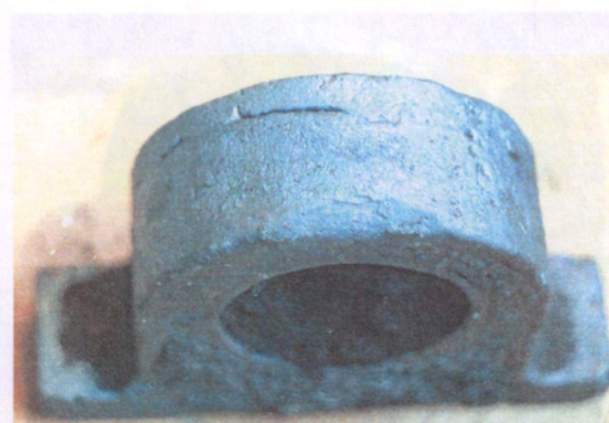


Рис. 40. Отливка «Опора» с неспаем верхней части отливки. Дефект появился вследствие прерывания заливки металла в форму.



Рис. 41. Отливка «Корпус редуктора» с подрывом знаковой части формы при извлечении модели

Подрыв образовался в результате некачественной очистки модели в месте соединения отливки и знака. После полной очистки модели и покрытия её разделительным составом дефект не появлялся.



Рис. 42. Отливка «Кронштейн» со смещением половинок модели

Дефект образовался от использования одного простановочного штыря меньшего размера. Замена штыря на требуемый по размеру ликвидировала дефект.



Рис. 43. Отливка «Ступица», показанная с не удалённым жидкостекольным стержнем, имеет разностенность из-за смещения стержня в знаке

Смещение произошло в связи с низким по высоте стержневым знаком, создающим неустойчивое вертикальное положение стержня. Увеличение глубины знака ликвидировало рассматриваемый дефект.

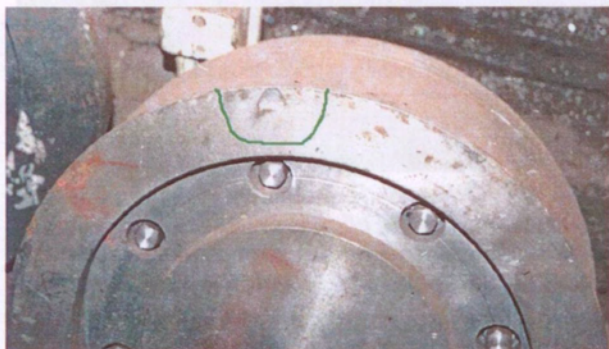


Рис. 45. Деталь «Привод насоса» имеет светлую, локальную, гладкую раковину размером около 20 мм

Дефект образовался в результате местного переувлажнения формы брызгами воды.



Рис. 44. Отливка «Колесо» имеет земляные раковины, возникшие вследствие уменьшенного припуска на механическую обработку

Увеличение припуска ликвидировало появление земляных раковин.



Рис. 46а. Отливка «Плита» имеет сеть ужимин, возникших в результате переуплотнения формовочной смеси с повышенной влажностью

Нанесение на поверхность формы противоужимных рисок и снижение влаги в формовочной смеси привело к ликвидации дефекта.



Рис. 466. Фрагмент отливки «Плита» с дефектом «Ужимина» (увеличено)



Рис. 47. Отливка «Стойка» с ужиминной, возникшей в результате увеличенного времени заливки перегретым металлом

Повышение скорости заливки формы металлом с пониженной температурой значительно сократило появление ужимин.



Рис. 48. Отливка «Плита опорная» имеет ужимину значительных размеров
Окраска формы светлой краской с последующей подсушкой способствовала ликвидации дефекта.



Рис. 49. Отливка «Переходник угловой» имеет земляные раковины, образовавшиеся в результате обжима формочной смеси стержневым знаком
Увеличение размера формочного знака успешно ликвидировало дефект.

Для заметок

Баронин Юрий Федорович
Камаров Валерий Анатольевич

АТЛАС ЛИНЕЙНЫХ ДЕКТОВ
Результаты
Мониторинга

Текст подготовлен в авторской редакции.
Оформление и дизайн соответствуют
с качеством предоставления материала.

См. также в выпуске Ю.Ф. Баронин.

Подготовлено в Москве 02.02.2005 г.
Формат 60x84 1/8. Печать офсетная.
Бумага офсетная. Тираж
Тираж 1000 экз. (1-й и 100 экз.). Заказ 1339.

Отпечатано с готового оригинала-макета в ООО «Принт».
400130, Москва, ул. Рязанская, 1.

Воронин Юрий Федорович
Камаев Валерий Анатольевич

АТЛАС ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ
Черные сплавы

М о н о г р а ф и я

Текст печатается в авторской редакции.

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных материалов.

Ответственный за выпуск Ю.Ф. Воронин.

Подписано в печать 05.05.2005 г.

Формат 60x84 1/8. Печать офсетная.

Бумага офсетная. Гознак.

Тираж 1000 экз. (I з-д – 100 экз.). Заказ 1339.

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Принт».
400120, Волгоград, ул. Череповецкая, 3.



ВОРОНИН
Юрий Федорович

Старший научный сотрудник кафедры САПР и ПК Волгоградского государственного технического университета, кандидат технических наук. В области литейного производства работает более 35 лет, из них 25 лет проработал в НПО «ВНИИТМАШ». Участвовал в совместных работах с фирмой «GISAG» (Германия). Автор 127 научных работ, имеет 41 изобретение.

E-mail: castling@cad.vstu.ru
Тел.: (8442) 23-42-46, 23-35-47



КАМАЕВ
Валерий Анатольевич

Заведующий кафедрой САПР и ПК Волгоградского государственного технического университета, заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук. Автор более 350 научных работ, 49 изобретений, 2 учебников, 12 учебных пособий, 15 монографий.

E-mail: castling@cad.vstu.ru

Тел. (8442) 23-42-46
факс (8442) 32-19-88