

УДК 621.74.043.2

Влияние алюминиевых сплавов на рабочую поверхность пресс-формы при литье под давлением

Майер Д.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана
Кафедра «Литейные технологии»*

*Научный руководитель: Мандрик А.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана
korotchenko@bmstu.ru*

Обеспечение длительной работоспособности пресс-форм является одной из важных проблем при изготовлении качественных отливок и снижении затрат при обслуживании оснастки.

К основным дефектам, приводящим к выводу пресс-формы из эксплуатации, относят: трещины и сетку разгара на формообразующих поверхностях, смятие в стыке вкладыш-вкладыш и стержень-вкладыш, изменение формы стержней, коробление, налипание и приваривание сплава на рабочие поверхности пресс-формы. При литье алюминиевых сплавов снижение стойкости пресс-форм связано в первую очередь с термической усталостью, формоизменением и износом. Согласно статистическим данным доля дефектов во вкладышах и стержнях пресс-форм примерно таковы: трещины и сетка разгара – 32 % и 4 %, пригар и приваривание – 16 % и 35 %, смятие – 18 % и 5 %, изменение размеров после устранения пригара – 7 % и 30 %, износ – 13 % и 13 %, механические повреждения – 8 % и 11 % соответственно.

Термическая усталость материалов – это явление, которое проявляется в виде сетки трещин на металлических изделиях, работающих при циклически изменяющихся температурах и напряжениях. Вначале на частично окисленной рабочей поверхности пресс-формы появляются мелкие пересекающиеся между собой трещинки, разбросанные по разным направлениям. С увеличением числа циклов теплосмен на поверхности образуются замкнутые петли, размер и рисунок которых разнообразны. При дальнейшем увеличении циклов теплосмен глубина и ширина трещин увеличивается. Заливка жидкого металла под давлением в пресс-форму с такими дефектами приведет к образованию заливов различной формы на поверхности отливок.

Появление микротрещин, охрупчивание, а затем разрушение материала вкладыша пресс-формы возникает тогда, когда температурные напряжения (при отсутствии механических усилий) превосходят истинное сопротивление разрыву материала в данном месте через какое-то число циклов теплосмен.

Критерием оценки термостойкости материалов при литье под давлением является число циклов теплосмен, то есть количество запрессовок жидкого металла в пресс-форму до появления сетки разгара.

Трещины бывают поверхностными, уходящими в глубину, внутренними в виде сетки мелких трещин и частичного отслаивания, выходящего на поверхность, а также в виде микротрещин, распространенных по всему объему, как результат фазовых превращений. Образование трещин обусловлено наличием температурных растягивающих напряжений:

- напряжения I рода – микроскопические зональные напряжения (охватывают целые области детали и имеют ориентацию, связанную с формой изделия);
- напряжения II рода – микроскопические напряжения (распространяются на отдельные зерна или группу зерен);
- напряжения III рода – субмикроскопические напряжения (относятся к искажениям атомной решетки).

На основе производственных данных установлено, что общий срок эксплуатации пресс-форм состоит из двух периодов. Первый период длится до момента появления трещин термической усталости. Второй период определяется длительностью развития трещин термической усталости до критических размеров, при которых дальнейшая эксплуатация пресс-форм становится практически невозможной. При этом длительность первого периода значительно меньше второго. Поэтому поведение материалов на начальной стадии эксплуатации пресс-форм до появления трещин обычно оценивают «термостойкостью», а на стадии их дальнейшего развития до разгара – «разгаростойкостью».

За счет возникновения адсорбционно-поверхностных эффектов на поверхности рабочей полости пресс-формы возможно появление трещин при первых запрессовках, что вызвано взаимодействием жидких металлов или газов с твердым металлом. Данное явление называют эффектом Ребиндера, к особенностям которого относят быстроту взаимодействия и резкое снижение механических свойств материала поверхности, в результате чего происходит разрушение за минуты и затем секунды. Хрупкость под действием жидких металлов хорошо изучена применительно ко многим условиям

работы материалов, но относительно работы пресс-форм этот вопрос еще недостаточно исследован. Поэтому при быстром разрушении пресс-форм и анализе его причин необходимо иметь в виду и эффект Ребиндера.

Вследствие нелинейности межатомной связи все тела при нагревании изменяют свои размеры. Параметры решетки принимают прежние значения при возвращении к исходной температуре. В реальном теле происходят физические явления, не обладающие обратимостью, что приводит к появлению остаточного формоизменения. Изменение размеров согласно опытным данным составляет примерно около 1 % за цикл от теплового расширения.

Ростом называют процесс необратимого формоизменения твердых тел из-за повторных теплосмен. Обоснуют явление роста как результат напряжений, возникающих по причине неодинаковых расширений прилегающих макро- и микрообластей материала. Релаксация напряжений сопровождается пластической деформацией, приводящей к изменению размеров тела.

Формоизменение в пресс-формах проявляется в виде роста, коробления, смятия и пластического перемещение металла (вымоины, вмятины). В процессе работы острые углы деталей пресс-форм, омываемые жидким металлом, теряют свою форму. Причиной этого явления может быть пластическая деформация или гидродинамический унос металла. Выступы внутренней полости и выталкивателей теряют свою исходную форму, приближаясь к шарообразной, что способствует образованию заливов на поверхности отливок.

Явление роста в пресс-формах проявляется редко, так как их поверхность нагревается с одной стороны. По причине нагрева по всей окружности стержни нередко увеличиваются по длине, но уменьшаются при этом в диаметре.

Коробление наблюдается как отдельных выступающих частей, так и всего вкладыша и даже блока, особенно по разьему. Чем выше температура заливаемого металла, тем интенсивнее проявляются все дефекты, в том числе и коробление.

Из-за пластической деформации и гидродинамического уноса возникают вымоины и вмятины. Устранение смятия сводится к выбору материала для изготовления вкладышей пресс-форм и режимов литья, которые могли бы обеспечить при температуре контакта больший предел текучести, чем возникающие максимальные температурные напряжения. При литье алюминиевых сплавов соблюдать это условие сложно.

Износ пресс-формы в широком смысле следует понимать как изменение чистоты рабочей поверхности и соответственно чистоты поверхности получаемых отливок. Износ рабочей полости пресс-форм и металлопроводов по сравнению с обычным износом явление сложное, так как трение здесь происходит при соприкосновении с жидким металлом при больших скоростях, гидродинамических ударах и при высоком конечном удельном давлении. Кроме того, действуют и другие факторы.

Чистота поверхности изменяется в зависимости от материалов, применяемых для изготовления отливок. Так, с повышением температуры плавления сплавов чистота поверхности снижается. Снижение чистоты поверхности рабочей полости пресс-форм и отливок тем интенсивнее, чем выше температура плавления материала отливок. С увеличением числа циклов теплосмен величина шероховатости поверхности возрастает и на каком-то цикле она превысит уровень технических требований на отливку. Это число циклов теплосмен и является износостойкостью пресс-формы.

Износ в виде истирания (трение, смятие), химического взаимодействия (коррозия, химические реакции), диффузии, дислокации, вакансий имеет место на всей рабочей поверхности, а кавитация, эрозия, гидродинамический унос, пластическое течение металла наблюдается только в отдельных местах. Износу трением, приводящему к задирам на трущихся поверхностях, особенно сильно подвержены пары: поршень-стакан и стержень-отливка. От действия струи жидкого металла, содержащего твердые частицы металла, также возникают задиры на рабочей полости пресс-форм.

Химическое взаимодействие металлов вкладыша и отливок проявляется в виде коррозии и различных химических реакций с образованием окислов, нитридов и других химических соединений, приводящих к изменению состава стали вкладышей пресс-форм на ее рабочей поверхности и изменению механических свойств, а также стойкости. Образующиеся химические соединения в большинстве случаев являются хрупкими и под действием струи жидкого металла выкрашиваются, образуя поры на рабочей поверхности вкладыша и повышенную шероховатость на поверхности отливок. В результате химического взаимодействия вкладышей пресс-форм с отливкой снижается их износостойкость и чистота поверхности рабочей полости.

Дислокации и вакансии перемещаются в сторону высоких температур и выходят на поверхность вкладышей пресс-форм, образуя мелкие поры, что приводит к возникновению шероховатости на поверхности отливок, снижая их чистоту.

Физическое взаимодействие жидкого металла отливки с материалом вкладыша пресс-форм проявляется в виде диффузии, фазовых превращений, эрозии, кавитации, гидродинамического уноса, адсорбционно-поверхностных эффектов и др.

В основе налипания и приваривания алюминия к поверхности стержней и рабочей полости лежит процесс диффузии. Около 65 % стержней выходит из строя из-за приваривания к ним металла отливки. В работе установлено, что при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов во вкладышах из стали 3Х2В8Ф после выхода их из строя на глубине 0,25-0,55 мм содержание алюминия достигало 0,74 %, а на глубине 4,75-7,55 мм – 0,58 %. Исходная сталь практически не содержала алюминия.

В местах удара струи жидкого металла о преграду (стержень, стенка и т. д.) при применении больших скоростей впуска и течения с высокими удельными давлениями наблюдается явление кавитации и эрозии. Разрушение от кавитации и эрозии в большинстве случаев носит локальный характер. Чаще всего оно сопровождается повышенной пористостью и другими видами износа рабочей поверхности.

Вымоины наблюдаются в местах падения струи жидкого металла и в местах ее удара о преграду и появляются из-за пластической деформации или гидродинамического уноса металла. При пластической деформации металл только перемещается на некоторое расстояние и остается, образуя около вымоин возвышенность. При гидродинамическом уносе металл удаляется вместе со струей. Этим и отличается образование вымоин по причине пластической деформации от гидродинамического уноса.

По причине износа возникает много различных дефектов, но наиболее широкое распространение при литье под давлением алюминиевых сплавов имеет пригар и приваривание расплава на рабочие поверхности вкладышей пресс-форм. Образование пригара является результатом интенсивного диффузионного и химического взаимодействия компонентов расплава (Al и Si) с материалом пресс-формы. Разность скоростей диффузии алюминия и железа приводит к повышению концентрации вакансий, их слиянию и образованию слоя микропор под поверхностью стальной пресс-формы. Наличие такого слоя под пригаром является основной причиной разрушения стальных пресс-форм при извлечении отливок.

Циклическое воздействие температуры и напряжений в пограничном слое приводит к изменению строения металла за счет возникающих процессов сфероидизации и коагуляции отдельных фаз. Это приводит к изменению механических свойств металла. Разупрочнение и упрочнение материала деталей пресс-форм в

пограничном слое происходят тем интенсивнее, чем выше температура контакта. Разупрочнение и упрочнение происходят вследствие теплового воздействия, вызывающего рекристаллизацию, возврат, старение, полигонизацию и другие процессы.

Исследования, которые проводились в Тюменском Государственном Нефтегазовом Университете на кафедре материаловедения и конструкционных материалов, показали между налипшим алюминием и материалом инструмента наличие диффузионного слоя, что обуславливает высокую степень сцепления сплава с поверхностью вкладыша. Рентгеноструктурный анализ поверхности в месте налипания алюминиевого сплава обнаружил диффузионный слой, состоявший из твердого раствора Al в α -Fe с интерметаллидами FeAl_3 , Fe_2Al_5 и сложным интерметаллидом $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{Fe}$, образование которого связано с присутствием в расплаве Si. Параметры решетки α -Fe отличались от параметров, полученных с поверхности пресс-формы, не участвующей в контакте с материалом отливки. Учитывая результаты вышеуказанных микроскопических исследований, можно предположить, что изменение периода решетки произошло вследствие насыщения поверхности пресс-формы алюминием.

При исследовании пригара на поверхности пресс-формы с помощью растровой электронной микроскопии установлено, что налипший алюминиевый сплав имеет явно выраженное слоистое строение (рис. 1), обусловленное цикличностью заливки металла. В местах пригара расплава также обнаружены игольчатые кристаллы интерметаллидов на рабочей поверхности пресс-формы, рис. 2.

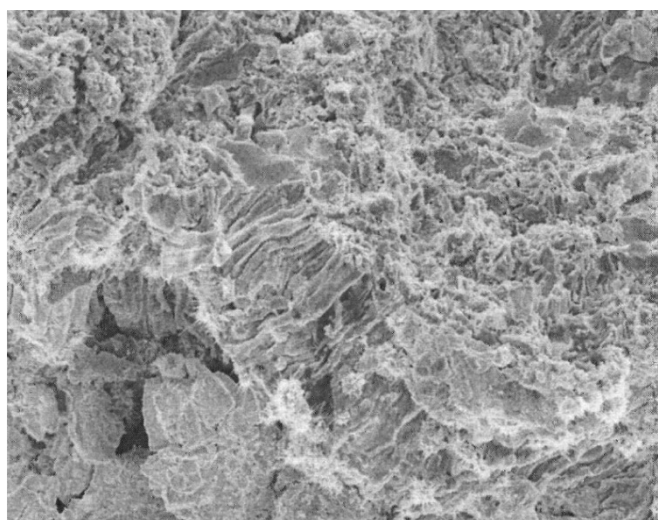


Рис. 1. Пригар на поверхности пресс-формы, увеличение x500

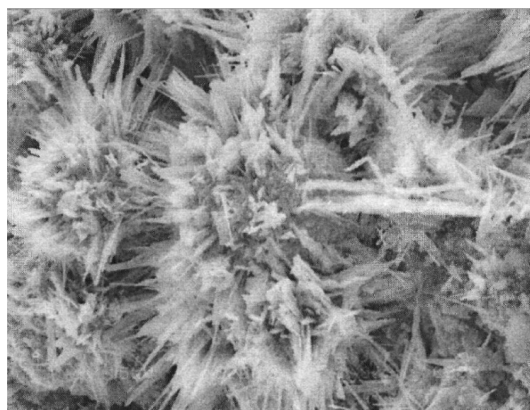


Рис. 2. Игольчатые кристаллы интерметаллидов
на рабочей поверхности пресс-формы, увеличение x5000

В реальных условиях промышленного производства продолжительность контакта поверхностей алюминиевого сплава и пресс-формы невелика (длительность одного контакта составляет 6-15 секунд). Однако количество теплосмен до разрушения пресс-формы достигает сотен и тысяч, причем каждый раз сталь взаимодействует с новой порцией расплава, свободной от продифундировавших в предыдущую отливку компонентов материала формы, то есть градиент их концентрации в расплаве в начальный период контакта весьма высок, что способствует увеличению диффузионного потока и разрушению литейной формы. Ускорению диффузии алюминия в материал пресс-формы способствует повышенное давление формирования отливки. Тепловое расширение стали при впуске расплава и последующая ее усадка в процессе охлаждения создают растягивающие внутренние напряжения, которые также благоприятствуют насыщению стали алюминием.

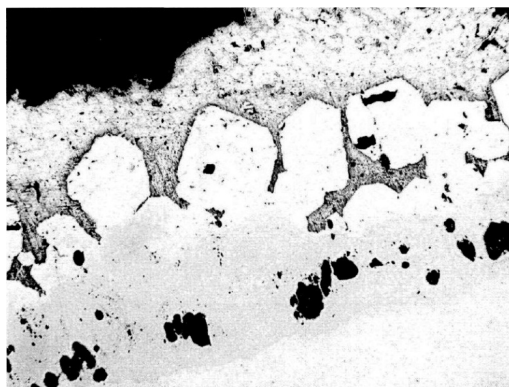


Рис. 3. Структура переходной зоны контакта стали 4X5МФ
с закристаллизовавшимся сплавом АК9, увеличение 300

На рис. 3 показана микроструктура переходной зоны контакта образца из стали 4Х5МФС с затвердевшим сплавом АК9. Переходная зона включает тонкий (не более 10 мкм) слой твердого раствора Al в α -Fe с твердостью более высокой, чем основной металл, затем следует слой алюминидов железа с толщиной 150-180 мкм. В структуре переходного слоя хорошо заметны поры размером от 5 до 40 мкм, располагающиеся между слоями твердого раствора Al в α -Fe и алюминидов. Полости критических размеров могут зарождаться вблизи интерметаллидов FeAl_3 и Fe_2Al_5 , обладающих повышенной хрупкостью по сравнению с твердым раствором алюминия в α -Fe. Можно также отметить различие между кристаллическими решетками алюминидов относительно твердого раствора, что приводит к дополнительным локальным напряжениям.

Обнаружение отдельных пор и группы микропор в поверхностных слоях пресс-формы позволяет предположить, что их образование связано с продвижением фронта диффузии алюминия в матрицу и взаимной диффузии атомов железа в затвердевший сплав. Поскольку коэффициент диффузии Al в α -Fe значительно выше коэффициента диффузии атомов железа в Al, позади фронта быстро диффундирующего элемента в матрице повышается концентрация вакансий, то основным механизмом диффузии в металлах является вакансионный. Повышение концентрации вакансий приводит к появлению бивакансий, вакансионных групп и, в конечном счете, к образованию микропор.

Итак, разрушение пресс-формы начинается с ее рабочей поверхности, так как она испытывает самые высокие температуры, деформации, напряжения и химические взаимодействия с жидким металлом. Применение смазок, химико-термической обработки (азотирование, низкотемпературное цианирование, сульфидирование и сульфацианирование, фосфатирование), физико-химической обработки (электролитическое хромирование, электролитическое никелирование), специальных видов обработки (поверхностная лазерная закалка, поверхностная плазменная обработка без оплавления, ультразвуковая обработка), а также защитных покрытий (вольфрамовые, молибденовые, керамические) для повышения стойкости пресс-форм обеспечивает увеличение длительности их работы.

В процессе работы пресс-формы через определенное количество циклов теплосмен необходима промежуточная обработка вкладышей для очистки поверхности и снятия внутренних растягивающих напряжений. Метод обработки и интервал обслуживания выбирается с учетом опыта работы конкретного литейного цеха.

Использование смазок для пресс-форм должно быть обязательным в технологическом процессе изготовления отливок, так как оно помогает повысить качество поверхности отливок, снизить вероятность образования пористости, повысить коррозионную стойкость вкладышей и стабильность химического состава и структуры литейного сплава, повысить производительность.

Следующим шагом для повышения стойкости пресс-форм является применение системы термостатирования вкладыша. Для этого во вкладыше выполняются каналы, по которым течет жидкость определенной температуры. Термостатирование позволяет снизить температуру контакта и скорости диффузии, что приводит к уменьшению вероятности приваривания сплава. Также термостатирование стабилизирует температурный перепад, при увеличении которого появление температурных напряжений и общей деформации возрастает.

Конфигурация литниковой системы влияет на скорость, плавность, одновременность заполнения пресс-формы. Грамотная проработка конструкции литниковой системы снизит до минимума появление бракованных отливок и увеличит длительность работы пресс-формы.

Таким образом, в данной работе были рассмотрены основные процессы взаимодействия алюминиевых сплавов с поверхностью пресс-формы, основные дефекты в поверхностном слое материала оснастки, а также способы и методы повышения стойкости пресс-форм. Пресс-форма, являясь одновременно оснасткой и литейной формой, оказывает сложное и многогранное влияние как на качество отливок, так и на технико-экономические показатели литья. Обеспечение длительной работоспособности пресс-форм является одной из важных проблем при изготовлении качественных отливок и снижении затрат при обслуживании оснастки.

Список литературы

1. Вигдорович В.Н., Глазов В.М., Глаголева Н.Е. Микротвердость металлов. 1962. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. 224 с.
2. Горюнов И.И. Пресс-формы для литья под давлением. Справочное пособие. Л.: Машиностроение, 1973, 256 с.
3. Шендеров И.Б., Павлов В.И., Яшенькина Н.Ф. Анализ состояния рабочих поверхностей форм при литье медных сплавов под давлением. // Литейное производство. 1994. № 9. С. 20–21.