

Для ускорения процесса подготовки производства и увеличения мощностей модельного цеха предусмотрено внедрение сквозной САПР, что позволит вести проектирование и моделирование модельной оснастки с применением ПВЭМ с дальнейшим внедрением в технологический процесс модельного цеха станков с ЧПУ. Кроме того, для сокращения временных и финансовых затрат на создание или оптимизацию технологии производства отливки требуемого качества необходимо внедрение системы компьютерного моделирования литейных процессов.

УДК: 621.74

В.Н. ФЕДУЛОВ, канд. техн. наук (БНТУ)

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Пресс-формы литья под давлением алюминиевых сплавов выходят из строя в основном по причинам эрозионного размыва и образования разгарных и магистральных трещин [1–4]. Этот вид инструмента является весьма дорогостоящей технологической оснасткой и поэтому представляет интерес для изучения с целью повышения эксплуатационной стойкости. Изготовление инструментов связано со значительными затратами материалов (до 30 %), энергетических (до 25–30 %) и трудовых (до 45–50 %) ресурсов. Себестоимость и качество металлоизделий, полученных методами литья под давлением цветных сплавов, напрямую связаны со сроком службы матриц и пуансонов пресс-форм или стойкостью. Фактическая стойкость определяется, главным образом, состоянием стали (износостойкостью) инструмента в местах непосредственного контакта с жидким металлом (рабочие поверхности), то есть свойствами стали в наружных слоях рабочей поверхности после термической или химико-термической обработки при изготовлении.

Целью настоящего исследования является анализ причин выхода из строя пресс-форм при литье под давлением алюминиевых сплавов в процессе эксплуатации и восстановление свойств рабочей по-

верхности матриц и пуансонов во время проведения профилактических работ.

Методика исследований включала два этапа. На первом этапе определяли поверхностные дефекты, образующиеся на рабочих частях в процессе различных по протяженности периодов эксплуатации пресс-форм, осмотром с применением увеличительных средств (луп с увеличением $\times 4-10$), и анализировали их возникновение. На втором этапе на основе проведенных исследований разрабатывали метод повышения стойкости пресс-форм и устанавливали время проведения его в процессе профилактических ремонтов, что и являлось новым в этой работе.

В процессе эксплуатации пресс-форм, не подвергавшихся химико-термической обработке при изготовлении, при выработке половины ранее установленного ресурса отсутствуют заметные дефекты рабочей поверхности, а поверхностные свойства рабочих частей пресс-формы могут быть достаточно эффективно восстановлены без проведения дополнительного шлифования. При выработке 70 % ранее установленного ресурса эксплуатации появляются различные признаки начала микроразрушения: разный цвет поверхности и изменение ее шероховатости. Восстановление поверхностных свойств рабочих частей пресс-формы необходимо, но более трудоемко по сравнению с первым периодом эксплуатации в связи с необходимостью проведения операции шлифовки на требуемую глубину (не только выравнивание шероховатости поверхности, но и доведение основных размеров).

Роль циклического термического воздействия на первом этапе эксплуатации пресс-формы заключается в провоцировании процессов диффузии элементов в поверхностном слое материала формы и их перераспределении. Главную роль на этом этапе играет создание концентраторов термических напряжений между структурными составляющими: первичными карбидами и перлитной матрицы из-за разницы в их теплопроводности [3]. Одним из факторов, также существенно влияющих на склонность металла к разгарному разрушению, является наличие неметаллических включений и их распределение в поверхностном слое стали. На наш взгляд, также существенным фактором, снижающим разгаростойкость сталей, является наличие в их структуре химически связанного водорода (гидридов).

Гидриды под термическим воздействием выделяют атомарный водород, который стремится к поверхности и располагается в напряженных местах (чаще по границам зерен или в микронесплошностях другого типа), что в конечном итоге и обеспечивает зарождение трещины. Под воздействием циклических теплосмен происходит увеличение локальной концентрации напряжений, а также увеличение их числа и возникновение полостей разрушения. Интенсивность этих процессов в большой мере зависит от увеличения твердости стали рабочих поверхностей, а также от интенсивности действия термоциклических напряжений и увеличения уровня напряжений вблизи концентраторов. Под воздействием химических реакций и циклических термических напряжений образуются сначала поверхностные микротрещины, а затем и трещины разгара. Увеличение твердости материала рабочих частей пресс-формы или создание неоднородной структуры повышает чувствительность к концентрации и локализации напряжений в процессе эксплуатации, ведет к формированию первичных микротрещин, появлению вторичных трещин, а также к образованию быстроразвивающихся магистральных трещин. Поэтому наблюдение за пресс-формами следует вести как в первые два периода эксплуатации, так и на протяжении всей эксплуатации. Это позволит оказывать большее влияние на увеличение общего срока службы этой оснастки.

Образование трещин было отмечено при выработке 80 % ресурса эксплуатации в наиболее нагруженных местах рабочей поверхности: в месте вхождения расплава в рабочую зону, в местах, наиболее подверженных транспортировке жидкого металла в заднюю часть пресс-формы, и там, где имеются места с выступающими частями гравюры. На этом этапе эксплуатации пресс-формы восстановление поверхностных свойств уже невозможно из-за появления макротрещин разгара, хорошо видимых без применения увеличительных средств. Начиная этот процесс с появления на поверхности отдельных, относительно равномерно распределенных, розеткообразных очагов разрушения.

Анализ показывает, что такую статистически устойчивую закономерность из всех возможных дефектов на поверхности могут дать только стыки границ зерен и фаз, что и отмечалось в работе [1].

Границы зерен и фаз обнажаются в процессе работы и тем самым выводят на поверхность ослабленные участки поликристаллического конгломерата. Дальнейшее развитие микротрещин и их рост определяется сочетанием напряженного состояния и ориентировки границы зерен и фаз. Исследования, проведенные ранее, показали, что при наличии диффузионного слоя даже малой толщины (вплоть до 0,05 мм) приваривание алюминиевого сплава к поверхности инструмента практически не происходит в течение длительного периода, пока не будет удален упрочненный слой в процессе эксплуатации [2].

Рабочие части пресс-форм (матрицы, пуансоны, рассекатели), как уже отмечалось, испытывают сравнительно малые удельные нагрузки и значительные тепловые воздействия. Износ инструмента с рабочими поверхностями, не подвергнутыми химико-термической обработке, может начаться с приваривания заливаемого металла уже после получения нескольких сотен отливок, что вызывает необходимость зачистки рабочей поверхности матрицы или пуансона, часто с ухудшением ее чистоты обработки. Впоследствии в этом месте и происходит более частое приваривание жидкого металла и опять производится ручная зачистка этих зон, так как увеличивается шероховатость поверхности, а это способствует образованию очагов эрозии стали и приводит в дальнейшем к выходу из строя пресс-формы.

До настоящего времени использовался еще один способ восстановления свойств рабочей поверхности пресс-форм для литья под давлением, например, магниевых и других сплавов во время профилактических работ [4, 5], включающий проведение регулярного отпуска матриц и пуансонов для снятия термических напряжений при температуре 300–400 °С [5]. Этот способ является прогрессивным, но и он в настоящее время используется крайне редко.

В таблице 1 в качестве примера приведены результаты восстановления свойств рабочей поверхности матриц и пуансонов из стали 4Х5МФС для пресс-форм литья детали типа цилиндра с ребрами во время проведения профилактических работ и данные по изменению их стойкости. Рабочие части при изготовлении пресс-формы не подвергались химико-термической обработке.

Таблица 1 – Проведение различных схем профилактических работ и их влияние на стойкость пресс-форм литья алюминиевых сплавов из стали 4X5MФС

| № способа обработки | Содержание операций при проведении профилактической работы после выработки 0,7 ресурса пресс-формы | Количество отливок, полученных при полном использовании инструмента | Примечание |
|---------------------|--|---|--|
| 1 | Известный способ: только зачистка и полировка дефектных мест | 41520 шт. | Инструмент снят на профилактику после изготовления 28000 отливок |
| 2 | Известный способ: зачистка и полировка дефектных мест и отпуск 400 °С, 3 ч | 53450 шт. | то же |
| 3 | Разработанный способ: зачистка и полировка дефектных мест и отпуск: 540°С в течение 6 ч, с предварительным нанесением на рабочую поверхность слоя карбонитрирующей смеси толщиной 8 мм | 83610 шт. | - « - |

Из таблицы очевидно, что применение разработанного способа восстановления свойств рабочей поверхности матриц и пуансонов во время профилактических работ способствует значительному увеличению количества изготовленных отливок из алюминиевого сплава в течение всего цикла использования пресс-форм по сравнению с проведением только зачистки или только зачистки и отпуска для снятия термических напряжений. Пресс-формы, обработанные по разработанному способу, в результате проведения сравнительных испытаний показали стойкость в 1,5–2 раза выше, чем подвергавшихся только зачистке и полировке или зачистке и полировке и отпуску для снятия термических напряжений во время ремонта после наработки 70 % ресурса.

Объясняется это явление следующим. При циклических нагревах во время эксплуатации пресс-форм литья под давлением, например, алюминиевых сплавов, кроме образования термических напряжений происходят также структурные изменения в поверхностном слое рабочей поверхности матриц и пуансонов. Для пресс-форм из стали 4X5MФС характерно образование в структуре дефектов в ви-

де участков обезуглероживания, перераспределения легирующих элементов, появления вакансий и микропустот, «белых» или светлотравящихся пятен, скопления атомарного водорода в поверхностном слое и др. После проведения отпуска, указанного в работе [5], дефекты структуры лишь частично устраняются, однако свойства стали в поверхностном слое не восстанавливаются полностью, хотя стойкость пресс-форм из-за снятия термических напряжений в матрице и пуансоне повышается значительно. Недостатком способа, включающего только снятие термических напряжений, является то, что фактически происходит лишь фиксация структурных изменений в поверхностной зоне стали, произошедших в результате достигнутой стадии эксплуатации, и их развитие возможно при дальнейшей работе до более значительных масштабов и даже до появления микротрещин и разрушения. Соответственно происходит снижение качества получаемого металлоизделия при увеличении периода эксплуатации пресс-форм и в то же время не используются все возможности повышения их ресурса.

Решение возникшей проблемы может быть достигнуто тем, что нужно добиваться не только снятия термических напряжений путем отпуска матрицы и пуансона, а необходимо с помощью химико-термической обработки устранить возникшие структурные изменения в поверхностном слое рабочих частей пресс-форм. На стадиях 50 % или 70 % выработки ресурса следует остановить эксплуатацию пресс-формы, снять ее с литейной машины, очистить от грязи и остатков алюминия и произвести осмотр поверхности рабочих частей с применением увеличительных средств для выявления мест образования разнотонности поверхности и нарушения шероховатости поверхности. Это должно быть сделано до появления первых мелких (уже визуально видимых) трещин. После этого матрицу и пуансон необходимо подвергнуть восстановлению поверхностных свойств за счет следующих мероприятий: произвести зачистку и полировку шлифовальной машиной подозрительных мест и обезжирить поверхность каким-нибудь растворителем или раствором моющего средства. Восстановление свойств рабочей поверхности пресс-форм необходимо производить при температуре нагрева 520–560 °С с предварительным нанесением на рабочую поверхность матрицы и пуансона, например, слоя толщиной 8 мм карбонитрирующей смеси разработанного автором состава [6]: калий железизи-

стосинеролистый – 45 %, оксид кремния – 45 %, натрий хлористый – 5 %, кальций фтористый – 5 %, при выдержке 4–6 ч. Это приводит к насыщению стали в поверхностном слое углеродом и азотом на глубину до 0,1 мм, удалению атомарного водорода, устранению значительной части дефектов структуры и снятию термических напряжений в стали между наружными слоями и сердцевиной. При этом происходит восстановление и даже улучшение (по сравнению с отсутствием химико-термической обработки при изготовлении) свойств рабочей поверхности и стабилизируется структура стали после охлаждения на воздухе до комнатной температуры как в поверхностном слое, так и во всем объеме инструмента. Эти процессы в конечном итоге обеспечивают значительное повышение срока службы (стойкости) пресс-форм и качества получаемых отливок из алюминиевых сплавов. Восстановительные работы можно проводить также и в случае эксплуатации пресс-форм, когда при их изготовлении проводили химико-термическую обработку рабочих поверхностей.

Технологический процесс внедрен на ОАО «Мотовело». Восстановлению подвергались пресс-формы 067-1210 (6 шт.), 067-1066 (2 шт.), 067-1087 (2 шт.), 067-0944 (2 шт.) общей стоимостью 102 млн. рублей. Обмазка [6] дополнительно апробирована на ОАО «Кузнечный завод тяжелых штамповок», технологический процесс химико-термического упрочнения матриц и пуансонов из стали 4X5MФС типа 600-7028.01.001-012 с использованием этой обмазки внедрен в 2011 г. В общей сложности было упрочнено около 490 деталей. Годовой экономический эффект составил около 60 млн. рублей.

Выводы:

1. Основное повышение стойкости технологической оснастки горячего формообразования на стадии эксплуатации достигается при своевременном проведении восстановительных работ, включающих на стадии выработки ресурса от 50 % до 70 % операцию химико-термической обработки (карбонитрирование) при ремонте. Проведение этого мероприятия не исключает проведения других планово-предупредительных работ: использования смазочных материалов во время эксплуатации и отпуса для снятия термических

напряжений на более ранних этапах и зачистки мест налипания металла (без снятия пресс-формы с литейной машины).

2. Повышение стойкости стального формообразующего инструмента позволит сократить его производство до 1,5–2 раз и получить в итоге значительную экономию электроэнергии за счет сокращения расходов на эксплуатацию оборудования различного типа (металлообрабатывающее и термическое оборудование), а также трудовых затрат.

3. Технологический процесс восстановления пресс-форм внедрен на ОАО «Мотовело».

Литература

1. **Факторы** стойкости форм из стали 4X5МФС при литье под давлением алюминиевых сплавов / В.А. Стрельский [и др.] // Литейное производство. – 1975. – № 7. – С. 81–83.

2. **Комплексное насыщение инструментальных сталей** из технологических обзоров / Н.С. Траймак [и др.] // Сб.: Прогрессивные методы термической и химико-термической обработки деталей машин и инструмента (Тезисы). – Минск, 1977. – С. 76–77.

3. **Федулов, В.Н.** Перспективы использования существующих и создания новых инструментальных сталей для производства технологической оснастки горячего формообразования изделий / В.Н. Федулов // Литье и металлургия. – 2006. – № 1. – С. 125–129.

4. **Никулин, Л.В.** Литье под давлением магниевых сплавов / Л.В. Никулин, Т.Н. Липчин, М.Л. Заславский. – М: Машиностроение, 1978. – 181 с.

5. **Травин, О.В.** Материаловедение / О.В. Травин, Н.Т. Травина. – М: Металлургия, 1989. – 384 с.

6. **Состав** обзаки для диффузионного карбонитрирования : пат. 15496 Респ. Беларусь, МПК С23С 8/72 / В.Н. Федулов; заявитель БНТУ. – № а 20100807 ; заявл. 24.05.2010 ; опубл. 28.02.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1. – С. 120.