

также неконтактных смешанных граничных условий позволяет провести оценку сложного пространственного напряженно-деформированного состояния.

Оценка объемной поврежденности трибофатических систем основывается на модели деформируемого твердого тела с опасным объемом, который определяется областью конечных размеров с критическим уровнем напряжений.

Анализ предельного состояния трибофатических систем в конечной области с критическим уровнем напряжений в ней, позволяющий давать прогноз отказа элементов системы проводится по разным критериям достижения предельного состояния (объемное разрушение – разделение на части; критическое поверхностное разрушение – предельный износ и др.)

#### **Список литературы**

1. Журавков, М.А. Некоторые подходы к моделированию контактного взаимодействия движущихся деформируемых тел / М.А. Журавков, С.С. Щербаков // Докл. НАН Беларуси. –2012. -Т. 56, № 1. –С.113-123.
2. Сосновский, Л.А. Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики: курс лекций / Л.А. Сосновский, М.А. Журавков, С.С. Щербаков. – Минск: БГУ, 2011. – 488 с.
3. Щербаков, С.С. Механика трибофатических систем / С.С. Щербаков, Л.А. Сосновский. – Минск: БГУ, 2011. – 407 с.
4. Журавков, М.А. Объемная мера поврежденности твердых тел при их контактном взаимодействии и некоторые ее приложения/ М.А. Журавков, С.С. Щербаков // Механика машин, механизмов и материалов. –2011. –№ 4. –С 91–96.

### **ВЫБОР МАТЕРИАЛА АНТИПРИГАРНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ МАШИН ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

**Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н.**

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь, levancev@mail.ru*

Литье под давлением занимает одно из ведущих мест в литейном производстве. В отечественной и зарубежной практике этим способом получают отливки, по конфигурации и размерам наиболее близкие к готовым деталям из цинковых, алюминиевых, магниевых и медных сплавов. При литье сплавов на основе алюминия основными причинами выхода из строя пресс-форм являются гидродинамический износ и пригар (приваривание сплава к рабочей поверхности формы с последующим отрывом вместе с частью основного металла при извлечении отливки). Изнашивание пресс-форм происходит в результате температурных колебаний в поверхностном слое оформляющей полости, гидродинамического действия потока и химического взаимодействия между материалом вкладышей и заливаемым сплавом.

Формообразующие детали пресс-форм являются наиболее ответственными деталями, так как они соприкасаются с жидким сплавом, в той или иной степени участвуют в оформлении поверхностей отливок и наиболее сильно подвергаются термическому воздействию и механическим нагрузкам. Эти детали изготовляют из жаростойких сталей, обладающих высокими механическими свойствами. Для повышения износостойкости и уменьшения химического взаимодействия с заливаемым сплавом формообразующие детали подвергают термообработке, а их рабочие поверхности – цианированию, азотированию, фосфатированию и другим методам упрочнения, а также используют защитные покрытия и смазки [1]. Несмотря на достигнутые положительные результаты, подобные мероприятия в большинстве случаев исчерпали ресурс своих

технологических возможностей и не удовлетворяют современным требованиям по обеспечению ресурса и термостойкости деталей литейного оборудования.

Таким образом, повышение стойкости пресс-форм является важнейшей предпосылкой для дальнейшего увеличения объема производства отливок способом литья под давлением и снижения их стоимости, а создание жаропрочных противопригарных покрытий, отличающихся высокими физико-механическими и прочностными характеристиками, устойчивых против высоких тепловых нагрузок и агрессивных сред, является одной из важнейших и актуальных задач.

Для формирования противопригарных покрытий на рабочих поверхностях деталей пресс-форм машин литья под давлением авторами предложено использовать метод плакирования гибким инструментом (ПГИ) [2, 3]. В процессе нанесения покрытия гибкий инструмент (металлическая щетка), вращаясь, контактирует как с обрабатываемой поверхностью, так и с бруском из материала покрытия (донором). В результате ударно-фрикционного воздействия ворсинок щетки сформированное покрытие обладает высокой прочностью сцепления с основой. По сравнению с другими методами нанесения покрытий метод ПГИ обладает низкой энерго- и трудоемкостью, прост в использовании, экологически безопасен, а для его реализации не требуется больших производственных площадей.

Экспериментальные исследования по выбору материала антипригарного покрытия, сформированного методом ПГИ, осуществляли в соответствии с разработанной методикой [4]. Испытания проводили в производственных условиях Минского завода автоматических линий им. П.М. Машерова в цехе литья деталей замков в машинах литья под давлением. Для испытания применяли образцы цилиндрической формы (ролики), изготовленные из стали 4Х5ВФСГ (ГОСТ 5950-2000), объемной закалки (HRC 38–42), с азотированием на глубину 0,15–0,2 мм (HRC 56–60) и нанесенными на боковую поверхность термостойкими покрытиями. Для формирования покрытий использовали композиционные материалы на основе хрома, никеля, титана, нержавеющей стали и др. с легирующими добавками из наноалмазов детонационного синтеза, карбидов хрома и бора, оксида алюминия, нанооксида иттрия и др. Контейнер с экспериментальными образцами, закрепленный в специальной оснастке (рисунок 1, а), опускали в индукционную печь с расплавленным алюминиевым сплавом АК5М2 (рисунок 1, б), выдерживали 1 мин, затем извлекали, охлаждали на воздухе в течение 0,5 мин и снова погружали.

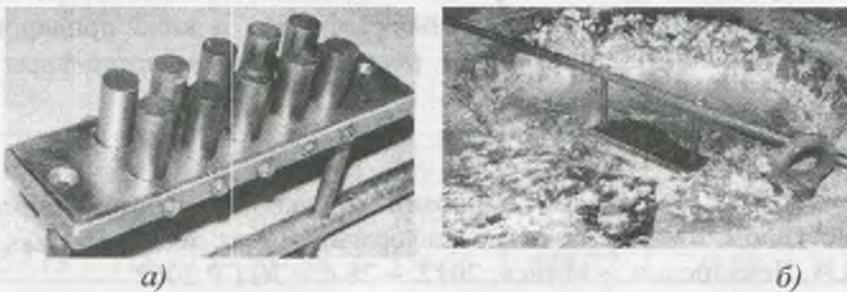


Рисунок 1 – Контейнер с экспериментальными образцами с термостойким покрытием в сборе (а) и в печи с расплавленным алюминиевым сплавом (б)

После 100 циклов «нагрев–охлаждение» экспериментальные образцы были извлечены из контейнера для визуального контроля состояния поверхности образцов и дальнейших металлографических исследований. Как показал визуальный осмотр, налипание алюминия на поверхность наблюдалось у всех образцов (рис. 2, а), однако у образцов № 7, 8 оно оказалось меньшим, чем у других (рис. 2, б).



Рисунок 2 – Экспериментальные образцы с покрытием после 100 циклов «нагрев–охлаждение», извлеченные с контейнером из печи (а) и извлеченные из контейнера (б)

Визуальный осмотр микрошлифов среза торцов образцов показал, что, в отличие от образца № 1 (без покрытия), у образца № 7 с покрытием на основе меди с частицами карбида бора имеется зона раздела, свидетельствующая об отсутствии взаимодействия алюминия с основой (рис. 3).

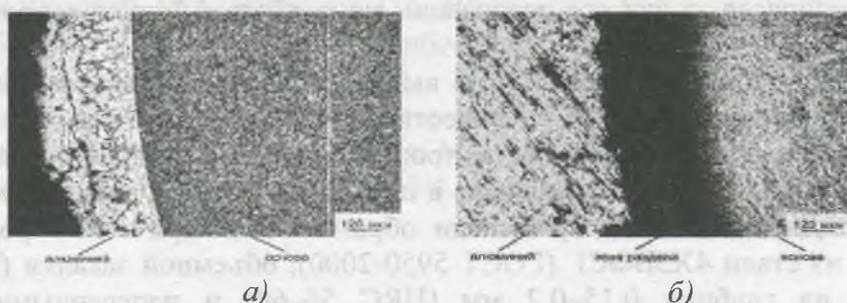


Рисунок 3 – Фото среза торцов образца № 1 без покрытия (а) и образца с покрытием № 7 (б).

Таким образом, на основании результатов эксперимента можно заключить, что покрытия, сформированные методом ПГИ из определенных материалов-доноров, в частности, на основе меди с включениями карбида бора, являются своеобразным защитным барьером, предотвращающим привар материала жидкого расплава к поверхности экспериментальных образцов деталей, способствуя повышению устойчивости к возникновению поверхностных дефектов в виде приваров, задиров и питтинга, а следовательно, и повышению ресурса деталей пресс-форм и качества выпускаемых отливок.

### Список литературы

1. Методы защиты от эрозии, коррозии и налипания при взаимодействии с расплавленным металлом: отчет о патентно-информационных исследованиях / ОИМ НАН Беларуси; рук. М.А. Леванцевич. – Минск, 2012. – 28 с. – № ГР 2062.
2. Леванцевич, М.А. Повышение эксплуатационных свойств трибосопряжений нанесением покрытий металлическими щетками / М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко, В.Г. Зольников // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2005. – № 1. – С. 67–72.
3. Леванцевич, М.А. Повышение износостойкости деталей машин деформационным плакированием гибким инструментом / М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко // Современные методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск: Технопринт, 2004. – Вып. 2, Т. 4. – С. 192–197.
4. Леванцевич, М.А. Методические основы оценки защитных свойств покрытий, взаимодействующих с горячим металлом / М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко, А.В. Толстой // Актуальные проблемы машиноведения: сб. научн. трудов. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. – Минск, 2012. – С. 424–426.