

УДК 621.74.043.2+621.7.079

ПИВОВАРЧИК
Александр Антонович

**РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ С ВЫСОКИМИ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ПРЕСС-
ФОРМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности
05.16.04 – Литейное производство

Минск, 2010

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель: **Михальцов Александр Миронович**,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Металлургия литейных сплавов»
Белорусского национального технического
университета

Официальные оппоненты: **Есьман Руслан Иосифович**,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры «Промышленная теплоэнергетика и
теплотехника» Белорусского национального
технического университета

Садоха Мечислав Антонович,
кандидат технических наук, доцент, зам.
директора по научной работе
ОАО «БЕЛНИИЛЛИТ»

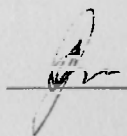
Оппонирующая организация: ГНУ «Институт технологии металлов
Национальной академии наук Беларуси»,
г. Могилев

Защита состоится «11» октября 2010 г. в 14-00 на заседании совета
Д 02.05.14 по защите диссертаций при Белорусском национальном техническом
университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп.
12, ауд. 310, тел. (факс) ученого секретаря (017) 292-54-06.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского
национального технического университета.

Автореферат разослан «11» Сентября 2010 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор


И.А. Трусова

© Пивоварчик А.А., 2010
© БНТУ, 2010

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Литье под давлением (ЛПД) является одним из наиболее динамичных и высокопроизводительных способов получения отливок с повышенными требованиями по размерной точности и качеству поверхности. При реализации процесса используют разделительные покрытия (смазки), которые наносят на рабочую поверхность пресс-формы. Это необходимо для уменьшения усилия извлечения отливки, а также для предотвращения задиrow на ее поверхности.

Современные разделительные покрытия для пресс-форм ЛПД представляют собой многокомпонентные композиции, как правило, на водной основе. Разработанные ранее и выпускаемые в Республике Беларусь разделительные покрытия этого класса на основе тяжелых минеральных масел, горного воска морально устарели, не в полной мере отвечают предъявляемым к ним требованиям и заметно уступают зарубежным аналогам (Trennex, Lubric и др.). Как итог, ряд отечественных предприятий для получения отливок необходимого качества вынужден закупать импортные разделительные покрытия.

Поэтому разработка нового состава разделительного покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками и обеспечивающего улучшение качества поверхности отливок, является актуальной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете в рамках проводимых научно-исследовательских работ.

Исследования и результаты, положенные в основу диссертации, соответствуют перечню приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 годы, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512, в частности, пункту 3.2 «теория, материалы, техника и технологии литейных и металлургических процессов».

В диссертации использованы результаты гранта автора, выделенного Министерством образования на проведение исследований по теме диссертации ГБ 07-18 «Влияние водоземulsionных разделительных покрытий на качество получаемых отливок при литье под давлением» (номер госрегистрации ГБ № 2007906, срок выполнения 2007 г.).

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка состава разделительного покрытия для пресс-форм литья алюминевых сплавов

обладающего высокой седиментационной устойчивостью, обеспечивающего получение качественного литья.

В соответствии с поставленной целью, необходимо было решить следующие задачи:

1. Исследовать процессы, протекающие на границе раздела отливка – стержень в момент удаления отливки из полости пресс-формы при литье под давлением;

2. Провести анализ компонентов и их свойств, традиционно используемых при разработке составов разделительных покрытий для литья под высоким давлением алюминиевых сплавов и новых материалов, более полно отвечающих предъявляемым к ним требованиям;

3. Разработать состав разделительного покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками, исследовать его технологические и потребительские свойства в сравнении с использующимися аналогами по методикам, наиболее полно отвечающим условиям процесса литья под давлением;

4. Опробовать и внедрить разработанный состав водоземulsionного разделительного покрытия в действующее производство.

Объектом исследования является технология изготовления отливок из алюминиевых сплавов методом литья под высоким давлением.

Предметом исследования является разделительное покрытие для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов, его получение и совершенствование.

Методы исследований. Влияние шероховатости поверхности оснастки на механизм разделения поверхностей отливки и стержня изучали, используя метод компьютерного моделирования. Для оценки разделяющей способности покрытий была разработана специальная методика, включающая получение отливок методом ЛПД с использованием пресс-формы со сменными стержнями и изучение разделительного слоя образовавшегося на границе раздела стержень – отливка на сканирующем микроскопе VEGA II. Физико-химические свойства разделительных покрытий исследовали методом вискозиметрии. Толщину слоя разделительного покрытия на поверхности оснастки определяли с использованием радиоволнового толщиномера ТМ-300. Потребительские свойства разделительных покрытий изучали стандартными методами.

Положения, выносимые на защиту:

1) Механизм формирования рельефа поверхностного слоя отливки при литье под давлением в присутствии разделительного покрытия на поверхности стержня, заключающийся в том, что в первую очередь оно нивелирует рельеф поверхности стержня, заполняя микронеровности и предотвращая доступ в

них расплава, изменяя при этом соотношение глубины затекания расплава к радиусу внедрения в меньшую сторону, что создает благоприятные условия для пластического оттеснения, а не срезания микронеровностей отливки микровыступами на поверхности стержня, а во вторую – проявляет свои смазывающие свойства в первоначальный момент съема отливки со стержня обеспечивая проскальзывание микронеровностей отливки по его поверхности. Использование более термостойких компонентов в составе разделительного покрытия уменьшает глубину затекания расплава в микронеровности стержня в 1,3–1,5 раза, снижая усилие извлечения стержня из отливки в сравнении с ранее использовавшимися разделительными покрытиями на 18–30 %.

2) Установленное положительное влияние соапстока (побочного продукта образующегося при переработке светлых растительных масел), заключающееся в улучшении смазывающей способности основы разделительного покрытия на 30 %, а также в повышении седиментационной устойчивости эмульсии в 5 раз, обусловленные наличием в составе соапстока комплекса жирных кислот и веществ, обладающих биполярными (гидрофильно-гидрофобными) свойствами.

3) Установленную зависимость свойств разделительного покрытия от состава и соотношения компонентов, в первую очередь величины добавки соапстока, температуры подогрева компонентов и времени их перемешивания, что позволило получить разделительное покрытие на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 с седиментационной устойчивостью более 2500 часов, превосходящее по технологическим (разделяющей способности, смазывающей способности, адгезионной способности, эрозионной стойкости) и потребительским свойствам (седиментационной устойчивости, коррозионной активности, стабильности, морозоустойчивости) отечественные разделительные покрытия для прессформ литья под давлением и не уступающее лучшим зарубежным аналогам.

Личный вклад соискателя

Основные результаты, изложенные в диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично. Теоретические и экспериментальные исследования, написание статей и тезисов докладов, апробация разработок в производственных условиях, формулировка промежуточных и заключительных выводов выполнены непосредственно соискателем.

Работа выполнена соискателем в соавторстве с канд. техн. наук, доцентом Михальцовым А.М., которому принадлежат постановка цели и задач исследований, а также общее руководство исследованиями.

Автор выражает искреннюю благодарность соавторам по публикациям за ряд весьма ценных советов и помощь при проведении совместных исследований.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных конференциях: 8-м Международном научно-техническом съезде литейщиков России (Россия, г. Ростов-на-Дону, 23–27.04.2007 г.), 6-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (г. Минск, 24,25.04.2008 г.), 7-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (г. Минск, 02,03.04.2009 г.), 8-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (г. Минск, 06,07.04.2010 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По основным положениям и результатам выполненных исследований опубликовано 22 печатные работы. Из них 12 статей опубликовано в научно-технических журналах (в том числе 4 – за рубежом), четыре тезиса докладов на международных научно-практических конференциях (из них 1 – за рубежом). Получен один патент на изобретение. Общий объем материалов, опубликованных по теме диссертации, составляет 4,1 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа содержит 154 страницы, в том числе 129 страниц машинописного текста, 17 таблиц и 61 иллюстрацию на 38 страницах, 14 страниц библиографического списка из 179 источников и 25 страниц приложений. В приложениях приведены документы о выдаче патента на изобретение, заключение экологической экспертизы о возможности использования разработанного состава разделительного покрытия в условиях действующего производства, документы об апробации и внедрении результатов исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы обоснована актуальность диссертации, дана краткая характеристика работы, ее основные цели и задачи, изложены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена изучению роли разделительных покрытий в технологии изготовления алюминиевых отливок методом ЛПД.

Выполнен анализ математических зависимостей, описывающих влияние основных параметров процесса ЛПД на усилие, необходимое для извлечения отливки из пресс-формы. Показано, что коэффициент трения является одним из наиболее значимых факторов процесса, а его значение, в свою очередь, зависит от используемых составов разделительных покрытий.

Анализ литературных данных относительно условий работы разделительных покрытий показал, что их действие объясняется на основе теорий гидродинамической и граничной смазки. Однако механизм работы разделительных покрытий еще недостаточно изучен и не выявлены основные факторы, определяющие работу покрытий.

Учитывая возрастающий интерес к производству отливок методом ЛПД, в работе проведен анализ разделительных покрытий, которые наиболее часто используются при реализации данного процесса. Показано, что в качестве покрытий, как правило, используют различные эмульсии, приготовленные на основе масел (животных, растительных, минеральных), а также твердые порошкообразные материалы и соли. Однако, не умаляя достоинств вышеназванных разделительных покрытий, их использование не всегда позволяет получать отливки требуемого качества.

Выполненный анализ состояния вопроса явился основой для постановки цели и задач исследования.

Во второй главе исследовали влияние шероховатости поверхности литейной оснастки и технологического уклона на условия работы разделительных покрытий.

Анализ сил, действующих в зоне контакта стержень – отливка, показал, что при идеально гладкой поверхности стержня и наличии на нем уклона отливка должна беспрепятственно соскальзывать со стержня. Однако микронеровности на поверхности стержня, образующиеся в результате механической обработки, существенно усложняют этот процесс.

Влияние шероховатости поверхности стержня и величины технологического уклона на разделение поверхностей отливки и стержня в момент удаления отливки из формы оценивали, изучая типовые профилограммы опорных поверхностей, снятые с эталонных образцов для 7-го ($R_a = 1,25$ мкм), 8-го ($R_a = 0,63$ мкм) и 9-го ($R_a = 0,32$ мкм) классов чистоты поверхности. Было принято допущение, что металл отливки заполняет все микронеровности на поверхности стержня при отсутствии на нем разделительного покрытия.

При съеме затвердевшей отливки со стержня возможно пересечение образовавшегося профиля отливки с профилем стержня. Этот процесс моделировали, используя стандартный пакет программного обеспечения «Компас» компании АСКОН. Принятые профили опорных поверхностей служили границей раздела отливки и стержня и располагались под углом 1, 2 и 3°, к оси стержня. При перемещении профиля отливки относительно профиля стержня на некоторую длину l , в сторону съема, образуются зоны возможного взаимного пересечения и свободные зоны (рисунок 1).

При увеличении шероховатости поверхности стержня от $0,32 R_a$ до $1,25 R_a$ площадь зон возможного взаимного пересечения профилей возрастает, вследствие большего числа максимальных выступов на поверхности стержня, по которым происходит деформационное торможение материала отливки.

Увеличение литейного уклона стержня способствует скорейшему разделению контактирующих поверхностей. Так при угле стержня 1° разделение поверхностей происходит на длине участка до $0,1$ мм, при угле стержня 3° до $0,035$ мм.



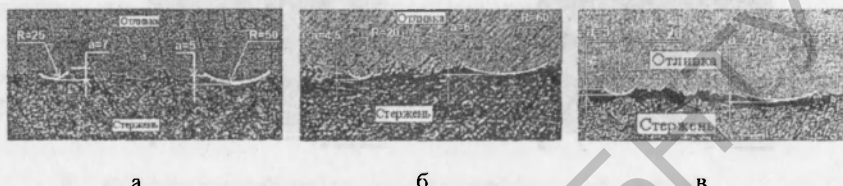
Рисунок 1 – Схема образования зон возможного взаимного пересечения профилей и свободных зон (зазоров) при перемещении отливки относительно стержня (фрагмент)

Известно, что при перемещении более твердого материала без смазки по более мягкому срезающему последнему возможно при отношении $a/R > 0,1$; где a — глубина внедрения мягкого материала в твердый, R — радиус внедрившейся поверхности. При наличии смазки это соотношение возрастает до значений $0,5-0,6$.

При ЛПД на поверхности пресс-формы присутствует разделительное покрытие, выполняющее роль смазки в начальный период перемещения отливки относительно стержня. Возможность сохранения слоя разделительного покрытия достаточной толщины на поверхности пресс-формы зависит от многих факторов. В момент заполнения пресс-формы расплавом полной деструкции разделительных покрытий не происходит благодаря их термической устойчивости, кратковременности процесса, дефицита кислорода. Приведенные на рисунке 2 снимки зон контакта поверхностей отливки и стержня свидетельствуют о том, что разделительные покрытия уменьшают глубину затекания расплава в микронеровности стержня, формируя рельеф поверхности отливки с меньшими выступами.

При использовании разделительных покрытий с более термостойкими компонентами полиметилсилоксановой жидкостью (ПМС300) глубина затекания расплава в микронеровности стержня уменьшается в 1,3–1,5 раза по сравнению с покрытиями, содержащими нефтепродукты.

При этом отношении a/R изменяется от значений 0,1–0,28 для случая без разделительного покрытия, до значений 0,1–0,22 при использовании нефтепродуктов в качестве основы покрытия. Более термостойкие компоненты (ПМС300) в составе разделительных покрытий уменьшают это отношение до значений 0,07–0,15.



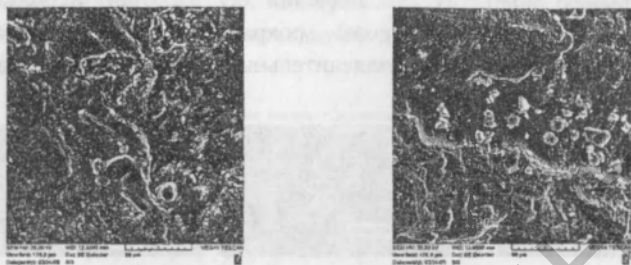
а – без разделительного покрытия; б – на основе нефтепродуктов;
в – на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС300

Рисунок 2 – Заполнение расплавом микронеровностей на поверхности стержня при использовании различных разделительных покрытий, $\times 250$

В результате затеканий в микронеровности стержня материал отливки, при перемещении ее по поверхности стержня будет не срезаться, а отгесняться за счет пластической деформации материала. Оттеснение затекшего во впадины алюминия при съеме отливки сопровождается проскальзыванием сминаемого материала отливки по микронеровностям на поверхности стержня в свободные зоны, которые возникают за счет литейного уклона оснастки. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока величина зазора между отливкой и стержнем не превысит размеров максимальных выступов на поверхности стержня. Уменьшение глубины затекания расплава в микронеровности стержня при использовании более термостойких компонентов разделительных покрытий снизит шероховатость поверхности формирующейся отливки и соответственно сократит расстояние, на котором произойдет разделение поверхностей стержня и отливки при извлечении ее из пресс-формы.

Характерные фрагменты поверхностей отливок, полученные без использования разделительного покрытия, и с разделительным покрытием, представлены на рисунке 3. Поверхность отливок, полученная без разделительного покрытия, более грубая; прослеживаются участки возможного срезания неровностей на ее поверхности микровыступами стержня. В то же время поверхность отливки, полученная с использованием

разделительного покрытия – более гладкая. На ней видны участки пластического оттеснения материала отливки микровыступами стержня. Использование разделительного покрытия на основе полиметилсилоксановой жидкости (ПМС300) стабилизирует описанный процесс за счет ее более высокой термостойкости.



1

2

1 – без разделительного покрытия; 2 – с использованием разделительного покрытия

Рисунок 3 – Поверхности отливок, полученные после их съема со стержня, $\times 1100$

Третья глава посвящена разработке состава водоземulsionного разделительного покрытия для пресс-форм ЛПД алюминиевых сплавов.

Ранее, в большинстве случаев при разработке разделительных покрытий, в первую очередь учитывали их смазывающую способность и, во вторую – термическую устойчивость. Поэтому основой подавляющего большинства ныне используемых разделительных покрытий являются нефтепродукты и их производные (высоковязкие масла, парафины и т.д.).

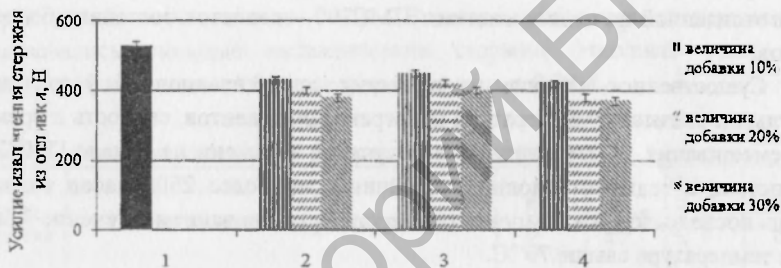
Анализ явлений, протекающих на границе раздела отливка – стержень, показывает, что работа разделительного покрытия начинается не в момент извлечения отливки из пресс-формы, а в момент формирования ее поверхности. Термостойкость нефтепродуктов в этом смысле оказывается недостаточной для формирования слоя, способного эффективно противостоять воздействию запрессовываемого сплава. С поставленной задачей успешнее справляются покрытия, содержащие в своем составе кремнийорганические соединения. Среди многообразия продуктов данного класса наибольший интерес представляют полиметилсилоксановые жидкости, в частности, ПМС300, кратковременно сохраняющая свои свойства до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это обусловлено сочетанием высокой термостойкости кварца и эластичности органических полимеров. Однако ПМС300 обладает более низкой смазывающей способностью в сравнении с нефтепродуктами. Кроме того, полиметилсилоксановая жидкость ПМС300 – гидрофобное вещество, что сильно затрудняет получение эмульсии типа масло

в воде (М/В) при использовании традиционных поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Таким образом, при разработке состава вододисперсионного разделительного покрытия необходимо было решить две задачи: повысить смазывающую способность ПМС300 и «уменьшить» ее гидрофобность.

С целью улучшения смазывающих свойств полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 в качестве добавок к ней опробовали материалы, которые обладают более высокими смазывающими свойствами и являются экологически безопасными препаратами (растительные масла и их производные). Результаты исследований представлены на рисунке 4.

Можно видеть, что смазывающая способность полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 после ввода в ее состав выбранных добавок возросла на 25–30 % по сравнению с исходным материалом.



1 – полиметилсилоксановая жидкость ПМС300; 2 – полиметилсилоксановая жидкость ПМС300 с добавкой растительного масла; 3 – полиметилсилоксановая жидкость ПМС300 с добавкой олеиновой кислоты; 4 – полиметилсилоксановая жидкость ПМС300 с добавкой соапстока

Рисунок 4 – Смазывающая способность комплексов состоящих из полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 и различных добавок

Среди исследованных материалов особый интерес представляет соапсток, образующийся при переработке светлых растительных масел. Соапсток содержит в своем составе целый комплекс веществ: преимущественно это непредельные и предельные жирные кислоты, а также фосфолипиды. Фосфолипиды содержат жирные кислоты и их производные, сложные эфиры многоатомных спиртов и высших жирных кислот, остаток фосфорной кислоты и соединенную с ним группу атомов различной химической природы.

Главная особенность фосфолипидов состоит в том, что они являются биполярными веществами. Это позволяет при их нахождении в воде образовывать бислой – двойной слой фосфолипидных молекул, в котором

гидрофильные его части соприкасаются с водой, а гидрофобные упрятаны внутрь основы разделительного покрытия и тем самым защищены от контакта с водой, что является благоприятным условием для получения устойчивой эмульсии.

Для получения устойчивой эмульсии ПМС300 в воде было опробовано свыше десяти всевозможных ПАВ, используемых в различных отраслях народного хозяйства. Из их числа был выбран неионогенный ПАВ – неонол (моноалкилфенол на основе тримеров изононила) марки АФ 9–12.

Перемешивание компонентов осуществлялось с помощью специального гомогенизатора.

Для приготовления эмульсии были использованы системы, состоящие из ПМС300 и выбранных добавок в пропорции 4:1. Седиментационная устойчивость эмульсии с добавкой растительного масла и олеиновой кислоты не превысила 250 часов. Седиментационная устойчивость эмульсии, приготовленной на основе системы ПМС300 – мылосток составила более 500 часов.

Существенное влияние на величину седиментационной устойчивости эмульсии оказывает температура подогрева компонентов, скорость и время их перемешивания. Установлено, что получение эмульсии на основе ПМС300 и мылостока с седиментационной устойчивостью более 2500 часов возможно лишь после выдержки компонентов перед перемешиванием в течение 3 минут при температуре выше 70 °С.

Для уменьшения количества проводимых экспериментов при поиске оптимального состава разделительного покрытия было выполнено математическое планирование эксперимента. После обработки результатов и проверки значимости коэффициентов было получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 521 + 2,8X_1 + 4,1X_2 + 8,4X_3 - 1,56X_4 - 1,56X_5, \quad (1)$$

где X_1 – количество основы (ПМС300) в составе эмульсии, %;

X_2 – количество добавки (мылостока) в составе эмульсии, %;

X_3 – количество ПАВ в составе эмульсии, %;

X_4 – температура подогрева компонентов, °С;

X_5 – скорость перемешивания компонентов, мин⁻¹.

Полученное уравнение позволило определить наиболее значимые факторы, влияющие на седиментационную устойчивость эмульсии. Это позволило разработать состав разделительного покрытия при следующем соотношении компонентов, вес. %: полиметилсилоксановая жидкость ПМС300 – 20,0–22,0; мылосток – 5,0–6,0; неонол – 2,5–3,0; вода – остальное.

На разработанный состав разделительного покрытия получен патент Республики Беларусь на изобретение «Смазка для пресс-форм литья под давлением» № 11508, а также заключение экологической экспертизы о возможности использования предлагаемого разделительного покрытия в условиях действующего производства.

Четвертая глава посвящена исследованию технологических и потребительских свойств разделительных покрытий для пресс-форм ЛПД алюминиевых сплавов. Исследование прошли составы, наиболее часто используемые в Республике Беларусь, а также вновь разработанный состав на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 с добавкой соапстока. Составы исследуемых разделительных покрытий представлены в таблице 1.

Изучение разделяющей способности покрытий проводили с применением специальной пресс-формы с гнездами для сменных металлических стержней, установленной на машине литья под давлением с холодной горизонтальной камерой прессования модели 71107. В ходе проведения экспериментов использовались сменные металлические стержни (материал сталь 45) диаметром 10 мм и длиной 35 мм с шероховатостью $0,32 R_a$.

Таблица 1 – Составы исследуемых разделительных покрытий

Номер покрытия	Разделительные покрытия на основе:	Основа, %	ПАВ, %	Наполнитель, %	Воск, %
ВОДОЭМУЛЬСИОННЫЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ					
1	Гидрофобизатора ГФК-1	20	2,5	-	Ост.
2	Масла Вапор	20	2,5	-	Ост.
3	Горного воска	40	2,5	-	Ост.
4	Фирмы «Петрофер», Германии	-	-	-	-
5	Полиметилсилоксановой жидкости ПМС300	20	2,5	-	Ост.
ЖИРОВЫЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ					
6	Минерального масла с добавкой графита	82	10	8	-
7	Минерального масла с добавкой алюминиевой пудры	80	10	10	-

Установлено, что в случае, когда разделительное покрытие не используется, наблюдается практически полное заполнение микронеровностей на поверхности стержня. Зазор между отливкой и стержнем отсутствует. В тоже время, при использовании разделительных покрытий между отливкой и стержнем выявляется зазор.

Смазывающая способность разделительных покрытий оценивалась по усилию извлечения металлического стержня из кокильной отливки. Так как

исследования смазывающей способности проводили при заливке металла в кокиль, была выполнена серия экспериментов, направленная на изучение схожести процессов заполнения микронеровностей на поверхности стержня при различных способах литья. Установлено, что микронеровности на поверхности стержня при заливке металла как в кокиль, так и при литье под давлением заполняются алюминиевым расплавом практически идентично.

В ходе исследований установлено, что лучшей смазывающей способностью среди исследуемых водоземulsionных разделительных покрытий обладают импортный аналог (910 Н) и покрытие на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 (890 Н), промежуточный результат показало разделительное покрытие на основе горного воска (1100 Н), наихудший – разделительные покрытия на основе нефтепродуктов (около 1450 Н).

Адгезионную способность разделительных покрытий изучали по методу параллельных надрезов. Установлено, что разделительное покрытие на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 обладает более высокой адгезионной способностью, за счет образования на поверхности пресс-формы более равномерного слоя по сравнению с покрытиями на основе нефтепродуктов.

Эрозионную стойкость разделительных покрытий изучали на машине литья под высоким давлением модели 71107. Эрозионная стойкость оценивалась по толщине слоя разделительного покрытия на поверхности пресс-формы до и после запрессовки расплава и извлечения отливки. Измерение толщины слоя разделительного покрытия осуществляли с помощью радиоволнового толщиномера ТМ-300, изготовленного в «ГНУ институт прикладной физики НАН Беларуси».

После однократной запрессовки металла в полость пресс-формы и удаления отливки толщина слоя разделительного покрытия уменьшается на 40–60 %, при использовании всех исследуемых составов (как водоземulsionных, так и жировых). Следует отметить увеличение толщины слоя на оснастке при последующих циклах изготовления отливок с использованием разделительных покрытий. При этом накопление покрытий отмечено лишь при использовании горного воска (20 %), разделительного покрытия «Петрофер» (10 %), а также разделительного покрытия на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 (15 %).

Исследования показали, что трехкратное увеличение времени выдержки отливки в пресс-форме перед извлечением с 5 до 15 секунд ведет к незначительному уменьшению толщины слоя разделительного покрытия, в среднем на 15–20 %.

В результате проведенных исследований установлено, что существенное влияние на эрозионную стойкость слоев исследуемых покрытий оказывает скорость впуска расплава в полость пресс-формы. Так при скорости впуска металла 0,4 м/с толщина слоя снижается на 30–50 %, при скорости впуска 0,8 м/с на 50–60 %, при скорости впуска 1,2 м/с – 75–85 %, от толщины слоя разделительного покрытия, полученного после его нанесения. Показано, что максимальный смыв слоя разделительного покрытия происходит в зоне литника. Независимо от скорости впуска и используемых составов разделительных покрытий толщина слоя разделительного покрытия в зоне литника снижается на 90–95 %.

Успешное использование разделительных покрытий во многом определяется их потребительскими свойствами. Установлено, что по потребительским свойствам (РН, коррозионной активности, стабильности, седиментационной устойчивости, морозоустойчивости) разработанный состав разделительного покрытия превосходит известные отечественные разделительные покрытия и практически не уступает импортному аналогу.

Для оценки экологической безопасности разделительных покрытий использовали хроматографический анализ. Установлено, что выбросы при деструкции исследуемых покрытий представлены различными классами органических и неорганических соединений, в основном это оксиды углерода и предельные углеводороды циклического и нормального строения, относящиеся к 4-му классу опасности. В тоже время в импортном аналоге присутствуют дополнительно такие соединения, как аммиак и этаноламин. Этанолламин является веществом 2-го класса опасности и относится к дурнопахнущим веществам.

В пятой главе изложены практические результаты работы. Разработанный состав разделительного покрытия прошел промышленное опробование на ряде предприятий Республики Беларусь и за рубежом. Использование предложенного состава разделительного покрытия при изготовлении алюминиевых отливок позволило снизить литейный брак по вине задиров с 2,4 % до 1,0 %, брак по качеству поверхности с 1,2 % до 0,3 %, вскрывающийся брак при черновой обработке с 1,7 % до 1,0 %.

С целью расширения области практического использования разработанный состав был опробован при изготовлении песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке, а также при получении форм для оболочкового литья. В процессе испытаний установлено следующее: при нанесении разделительного покрытия отсутствует газыделение, налипания покрытия на технологической оснастке не наблюдается. Стержни получаются чистые, без следов разделительного покрытия, съем стержней происходит свободно. Использование предложенного разделительного покрытия при изготовлении

оболочковых форм обеспечило их мягкий съём с моделей, а также улучшило условия труда формовщиков.

Суммарный экономический эффект от внедрения разработанного состава разделительного покрытия в производство составил 56,2 млн бел. руб. в ценах января 2010 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что разделение поверхностей затвердевшей отливки и стержня при ее съеме зависит от класса шероховатости поверхности стержня и технологического уклона. При уклоне поверхности стержня 3° и шероховатости стержня $0,32 R_a$ разделение поверхностей происходит на длине 0,035 мм. При уменьшении уклона стержня до 1° и увеличении его шероховатости до $1,25 R_a$ длина участка, на котором происходит полное разделение профилей поверхностей, возрастает до 0,1 мм [12, 20, 21].

2. Установлено, что разделительное покрытие, в первую очередь нивелирует рельеф поверхности стержня, заполняя микронеровности и предотвращая доступ в них расплава, изменяя при этом соотношение глубины затекания расплава к радиусу внедрения в меньшую сторону, что создает благоприятные условия для пластического оттеснения, а не срезания микронеровностей отливки микровыступами на поверхности стержня, а во вторую – проявляет свои смазывающие свойства в первоначальный момент съема отливки со стержня, обеспечивая проскальзывание микронеровностей отливки по его поверхности, что способствует снижению усилия извлечения стержня из отливки. Показано, что использование более термостойких веществ в составе разделительных покрытий уменьшает глубину затекания расплава в 1,3–1,5 раза по сравнению с разделительными покрытиями на основе нефтепродуктов. При использовании разработанного состава разделительного покрытия усилие извлечения стержня из отливки снижается с 1450 Н до 890 Н по сравнению с ранее использовавшимися смазками [3, 4, 5, 9, 12].

3. Установлено, что седиментационная устойчивость эмульсии повышается при использовании биполярных веществ типа соапстоков, снижающих гидрофобность кремнийорганических материалов. Показано, что седиментационная устойчивость эмульсий ПМС300 в воде возрастает в 5 раз при предварительной выдержке смеси (ПМС300 – соапсток) в течение 3 минут при температуре выше 70°C перед перемешиванием с водой и составляет более 2500 часов. Также установлено, что добавление соапстока увеличивает

смазывающую способность полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 на 30 % [1, 3, 9, 15].

4. Разработан и запатентован состав разделительного покрытия на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 с добавкой соапстока. Разработанный состав превосходит по своим технологическим (разделяющей способности, смазывающей способности, адгезионной способности, эрозионной стойкости) и потребительским свойствам (седиментационной устойчивости, коррозионной активности, стабильности, морозоустойчивости) ранее разработанные отечественные смазки для пресс-форм литья под давлением и не уступает по данным характеристикам лучшим зарубежным аналогам [2, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 22].

5. Внедрение разработанного состава разделительного покрытия в технологический процесс изготовления отливок из алюминиевых сплавов методом ЛПЦ на ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов», г. Осиповичи позволило снизить литейный брак в отливках по вине «задиrow» с 1,5 до 1,0 %, брак по качеству поверхности отливок с 0,9 до 0,3 %. Годовой экономический эффект от внедрения разделительного покрытия составил 11 175,6 тыс. бел. руб. в ценах января 2007 года.

Использование предложенного разделительного покрытия на ОАО «САЛИТ», г. Сморгонь взамен импортной смазки позволило снизить литейный брак по вине «задиrow» с 2,4 до 1,0 %, брак по качеству поверхности с 1,2 до 0,5 %, вскрывающийся брак при черновой обработке литья с 1,7 до 1,1 %. Годовой экономический эффект от внедрения разделительного покрытия составил 6 272,6 тыс. бел. руб. в ценах июля 2009 года.

Промышленное внедрение разработанного разделительного покрытия на ОАО «Ковровский электромеханический завод», г. Ковров, РФ позволило снизить брак по качеству поверхности изготавливаемых алюминиевых отливок с 0,5 до 0,4 %. Годовой экономический эффект от внедрения разделительного покрытия составил 408 427,5 руб. РФ в ценах января 2010 года.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанный состав разделительного покрытия может быть использован при изготовлении существующей номенклатуры алюминиевых отливок методом литья под высоким давлением на следующих предприятиях: ОАО «Экран», г. Борисов; УП «ММЗ», г. Минск; РУП «Минский приборостроительный завод», г. Минск; ОМРУП «Зенит», г. Вилейка (Республика Беларусь).

Разработанный состав разделительного покрытия можно использовать также при изготовлении оболочковых форм и песчано-смоляных стержней по

нагреваемой оснастке на следующих предприятиях: РУП «МТЗ», ОАО «МЗОО», УП «ММЗ», (Республика Беларусь), ОАО «Ковровский электромеханический завод» (Россия) [6, 18].

Теоретические исследования процессов, протекающих на границе раздела отливка – стержень при литье под давлением алюминиевых сплавов, а также разработанные составы разделительных покрытий для литейной оснастки и пресс-форм литья под давлением могут быть использованы в учебном процессе, при подготовке специалистов в области литейного производства.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Михальцов, А.М. Разработка водоземulsionных смазок для пресс-форм литья под давлением / А.М. Михальцов, Пивоварчик А.А., Розум В.А // – Литейное производство. – 2006. – № 3. – С. 15–16.

2. Михальцов, А.М. Водоземulsionные разделительные покрытия для пресс-форм литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, Б.А. Каледин, В.А. Розум // – Литье и металлургия. – 2006. – № 2. – С. 116–118.

3. Михальцов, А.М. Водоземulsionные смазки для пресс-форм литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, Л.М. Слепнева, В.А. Розум // – Литейщик России. – 2006. – № 5. – С. 21–23.

4. Михальцов, А.М. Разделительные покрытия на основе кремнийорганических полимеров для литья под давлением алюминиевых сплавов / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // – Респ. межвед. сб. науч. тр. «Металлургия». – 2006. – № 30. – С. 130–140.

5. Пивоварчик, А.А. Разработка разделительных покрытий на основе кремнийорганических материалов для пресс-форм литья под давлением / А.А. Пивоварчик, Л.М. Слепнева, В.А. Розум // – Литейщик России. – 2007. – № 1. – С. 36–40.

6. Михальцов, А.М. Водоземulsionные разделительные покрытия для изготовления стержней по нагреваемой оснастке / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, А.Г. Курьян // – Литье и металлургия. – 2007. – № 2. – С. 178–179.

7. Михальцов, А.М. Исследование адгезионной способности смазок на основе кремнийорганических полимеров для литья под давлением алюминиевых сплавов / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // – Литейщик России. – 2007. – № 7. – С. 11–13.

8. Михальцов, А.М. Накопление разделительных покрытий на рабочей поверхности технологической оснастки при литье под давлением алюминиевых сплавов / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // – Респ. межвед. сб. науч. тр. «Металлургия». – 2007. – № 31. – С. 179–189.

9. Михальцов, А.М. Разработка комплексного компонента на основе кремнийорганических полимеров для пресс-форм литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, Л.М. Слепнева // – Литье и металлургия. – 2008. – № 1. – С. 129–133.

10. Михальцов, А.М. Исследование экологической безопасности смазок для литья под давлением алюминиевых сплавов / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, А.С. Панасюгин // – Литье и металлургия. – 2008. – № 1. – С. 133–135.

11. Михальцов, А.М. Эрозионная стойкость смазок при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов методом литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // – Литье и металлургия. – 2008. – № 2. – С. 47–51.

12. Михальцов, А.М. Контактные процессы на границе раздела стержень – отливка при литье под давлением алюминиевых сплавов / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, А.П. Бежок // – Литье и металлургия. – 2009. – № 4. – С. 48–54.

Статьи в материалах конференций

13–А. Михальцов, А.М. Разделительные смазки для пресс-форм литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // Материалы VII Респ. научно-техн. конф. студ. и асп. / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: Н.И. Иваницкий [и др.]. – Минск, 2003. – Часть 4. – С. 88–89.

14–А. Михальцов, А.М. Смазки для форм литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // Новые материалы и технологии их обработки: Материалы V Респ. студ. научно-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: Н.И. Иваницкий [и др.]. – Минск, 2004. – С. 14–15.

15–А. Михальцов, А.М. Смазки для форм литья под давлением / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // Новые материалы и технологии их обработки: Материалы VI Респ. студ. научно-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: Н.И. Иваницкий [и др.]. – Минск, 2005. – С. 57.

16. Пивоварчик, А.А. Влияние смазок на качество поверхности отливок при литье под давлением алюминиевых сплавов / А.А. Пивоварчик, С.В. Пилипович // Новые материалы и технологии их обработки: Материалы IX Респ. студ. научно-техн. конф. посвящ. 50-летию МТФ / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: Н.И. Иваницкий [и др.]. – Минск, 2008. – С. 74.

17. Пивоварчик, А.А. Эрозионная стойкость смазочных слоев при литье под давлением алюминиевых сплавов / А.А. Пивоварчик, Н.В. Серко // Новые материалы и технологии их обработки: Материалы IX Респ. студ. научно-техн. конф. посвящ. 50-летию МТФ / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: Н.И. Иваницкий [др.]. – Минск, 2008. – С. 25.

Тезисы докладов конференций

18. Пивоварчик, А.А. Новые водоземulsionные разделительные покрытия для изготовления стержней по нагреваемой оснастке / А.А. Пивоварчик, А.Н. Карась, А.Г. Курьян // Труды восьмого съезда литейщиков России.: в 2 т. / ОАО «Ростовский литейный завод». – Ростов-на-Дону, 2007. – Т 2. – С. 185–187.

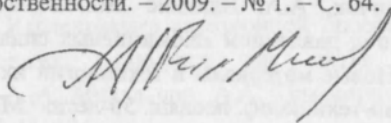
19. Пивоварчик, А.А. Исследование свойств технологических смазок для литья под давлением алюминиевых сплавов / А.А. Пивоварчик // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы VI Междунар. научно-техн. конф.: в 3 т. / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2009. – Т 1. – С. 162.

20. Михальцов, А.М. Влияние величины уклона и шероховатости поверхности стержня на противодействие съему отливок / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы VII Междунар. научно-техн. конф.: в 3 т. / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2009. – Т 1. – С. 190.

21. Пивоварчик, А.А. Практическое исследование противозадирного действия смазок при литье под давлением алюминиевых / А.А. Пивоварчик, А.М. Михальцов // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы VII Междунар. научно-техн. конф.: в 3 т. / Белорус. нац. техн. ун-т: редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2009. – Т 1. – С. 191.

Авторские свидетельства и патенты

22. Смазка для пресс-форм литья под давлением: пат. 11508 Респ. Беларусь, МПК2006 С1, В 22 С 3/00 / А.М. Михальцов, А.А. Пивоварчик, В.А. Розум; заявитель Белорусский национальный технический ун-т. – № а 20070763; заяв. 20.06.07; опубл.28.02.09 // Официальный бюл. / Нац. центр. интеллектуал. собственности. – 2009. – № 1. – С. 64.



РЭЗЮМЕ

Півавэрчык Аляксандр Антонавіч

Раздзяляльнае пакрыццё з высокімі эксплуатацыйнымі характарыстыкамі прэс-форм ліцця пад ціскам алюмініевых сплаваў

Ключавыя словы: ліццё пад ціскам, раздзяляльныя пакрыцці, прэс-форма, стрыжань, адліўка, эмульсія, седыментацыйная устойлівасць.

Мэтай дысертацыі з'яўляецца: распрацоўка састава раздзяляльнага пакрыцця з высокімі эксплуатацыйнымі характарыстыкамі для прэс-форм ліцця пад ціскам алюмініевых сплаваў.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца тэхналогія вырабу адлівак з алюмініевых сплаваў метадам ліцця пад высокім ціскам.

Вывучаны уплыў шурпатасці паверхні ліцейнай аснасткі і тэхналагічнага ухілу на механізм раздзялення кантактаваных паверхняў адліўкі і формы пры ліцці пад ціскам алюмініевых сплаваў. Вызначана, што раздзяленне паверхняў працякае на дастаткова незначнай адлегласці да 0,1 мм і залежыць ад класу шурпатасці аснасткі і тэхналагічнага ухілу стрыжня.

Паказана, што найбольш поўна патрабаванням асновы раздзяляльнага пакрыцця для прэс-форм ліцця пад ціскам алюмініевых сплаваў адказвае прадстаўнік класу высокамалекулярных крэмнійарганічных злучэнняў – поліметылсілаксанавая вадкасць (ПМС300).

Вызначана, што выкарыстоўванне біпалярных рэчываў тыпу саапсцакаў у складзе змазкі садзейнічае павышэнню змазвальнай уласцівасці асновы раздзяляльнага пакрыцця і дазваляе атрымаць эмульсіі ПМС300 ў вадзе з высокай седыментацыйнай устойлівасцю (звыш 2500 гадзін).

Распрацаваны і запатэнтаваны састаў раздзяляльнага пакрыцця для прэс-форм ліцця пад ціскам на аснове поліметылсілаксанавай вадкасці ПМС300 з высокімі эксплуатацыйнымі характарыстыкамі.

Распрацаваны састаў раздзяляльнага пакрыцця прэс-форм ліцця пад ціскам прайшоў прамысловае апрабаванне і быў укаранены ў шэрагу прадпрыемстваў Рэспублікі Беларусь і за яе межамі. Сумарны гадавы эканамічны эффект ад укаранення распрацаванага састава ў вытворчасць склаў 56 248,6 тыс. бел. руб. у цэнах студзеня 2010 года.

РЕЗЮМЕ

Пивоварчик Александр Антонович

Разделительное покрытие с высокими эксплуатационными характеристиками для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов

Ключевые слова: литье под давлением, разделительные покрытия, пресс-форма, стержень, отливка, эмульсия, седиментационная устойчивость.

Целью диссертации является разработка состава разделительного покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов.

Объектом исследования является технология изготовления отливок из алюминиевых сплавов методом литья под высоким давлением.

Изучено влияние шероховатости поверхности литейной оснастки и технологического уклона на механизм разделения контактирующих поверхностей отливки и формы при литье под давлением алюминиевых сплавов. Установлено, что разделение поверхностей протекает на достаточно незначительном расстоянии до 0,1 мм и зависит от класса шероховатости оснастки и технологического уклона стержня.

Показано, что наиболее полно требованиям основы разделительного покрытия для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов отвечает представитель класса высокомолекулярных кремнийорганических соединений – полиметилсилоксановая жидкость (ПМС300).

Установлено, что использование биполярных веществ типа соапстоков в составе смазки способствует повышению смазывающей способности основы разделительного покрытия и позволяет получать эмульсии ПМС300 в воде с высокой седиментационной устойчивостью (свыше 2500 часов).

Разработан и запатентован состав разделительного покрытия для пресс-форм литья под давлением на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС300 с высокими эксплуатационными характеристиками.

Разработанный состав разделительного покрытия для пресс-форм литья под давлением прошел промышленное опробование и внедрен на ряде предприятий Республики Беларусь и за рубежом. Суммарный экономический эффект от внедрения разработанного состава разделительного покрытия в производство составил 56 248,6 тыс. бел. руб. в ценах января 2010 года.

SUMMARY

Pivovarchyk Aliaksandr Antonovich

Separating coating with high performance for die casting molds of aluminium alloys

Key words: die casting, separating coating, mold, the core, casting, emulsion, sedimentation stability.

The aim of the dissertation is to develop separating coatings with high performance for die casting molds of aluminum alloys.

The object of study is the production technology of cast aluminum alloys by die casting.

The influence of surface roughness of casting tooling and technology inclination on the mechanism of separation of the contacting surfaces of the casting and die casting mould for aluminum alloys was studied. It was found that the separation of the surfaces takes place at a sufficiently small distance of 0,1 mm and depends on the class of roughness equipment and technology inclination of the core.

It is shown that most fully meet the requirements of the foundations of the separation for mold die casting aluminum alloys is responsible representative of the class of high-silicon compounds – polymethylsilicone fluid (PMS300).

It was found that the use of bipolar-type substances in the soap stock lubrication improves lubricating ability of base of the separation surface and produces PMS300 emulsion in water with high sediment stability (over 2500 hours).

The composition of the separating coating for die casting molds based on polymethylsilicone fluid PMS300 with high performance was developed and patented.

The developed composition of the separating coating for die casting molds was passed the industrial testing and was introduced by number of enterprises of Belarus and abroad. The total economic effect of the application using the developed composition of the separating coating in the production was 56 248,6 thousand rubles in prices of January 2010.

Научное издание

ПИВОВАРЧИК
Александр Антонович

**РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ С ВЫСОКИМИ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ПРЕСС-ФОРМ
ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности
05.16.04 – Литейное производство

Ответственный за выпуск И.Ю. Никитенко

Подписано в печать 02.09.2010

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 60. Заказ 1020.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.