

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ КРАСКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

**Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, А.С. Варламов,
А.Н. Франчук, А.А. Южакова**

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

В литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) актуальной технологической задачей является предотвращение образования пригара на стальных и чугунных отливках. В результате исследований разработаны соответствующие составы противопопригарных модельных красок с использованием рециклинга и наноструктурированных материалов. В их состав помимо «традиционных» добавок (крахмал (загуститель), бентонит (стабилизатор), лигносульфонат технический (связующее и поверхностно-активное вещество), смачиватель ОП-7) входят следующие прогрессивные материалы. Для стального ЛГМ: водный раствор алюмоборфосфатного концентрата, периклаз порошкообразный, наноструктурированный алмазный порошок, электрокорунд белый. Для чугунного ЛГМ: указанные выше материалы, но вместо дорогостоящего электрокорунда – возвратная шихта электродного производства. Основные технологические характеристики разработанных составов противопопригарных модельных красок: условная вязкость по ВЗ-6: 18...25 с; остаточная влажность 1...1,5 %, газопроницаемость 40...50 ед. Для особо ответственных отливок предполагается задействовать барботажно-ультразвуковую обработку суспензии покрытия. Воздействие ультразвукового поля в процессе подготовки состава покрытия активизирует алюмоборфосфатное связующее, повышает его адгезию к гладким поверхностям сложнопрофильных полистирольных моделей. Применение барботажа одновременно с ультразвуковой обработкой состава покрытия обеспечивает существенное повышение газопроницаемости противопопригарного покрытия. Эффективность противопопригарных красок определяется снижением брака отливок по газовым раковинам, неточности геометрии, пригару, а также использованием в их составе доступных и экологически безопасных формовочных материалов, что обеспечивает высокую конкурентоспособность продукции. Учитывая повышенные технологические свойства, краски рекомендуются к применению на отечественных и зарубежных предприятиях литья по газифицируемым моделям.

Ключевые слова: противопопригарная модельная краска; литье по газифицируемым моделям; рециклинг; наноструктурированные материалы; связующее; наполнитель.

Введение

Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) позволяет получать отливки практически любой конфигурации, при этом с низкой себестоимостью и энергозатратами. В настоящее время ЛГМ успешно применяется при модернизации и создании новых высокотехнологичных производств России.

Отливки в ЛГМ получают по пенополистирольным моделям, которые формуют в опоках с песком, уплотняя его вибрацией и используя вакуум.

Однако при заливке формы жидким металлом, например сталью или чугуном, на поверхности отливки часто образуется слой пригара. Для предотвращения образования пригара в производстве используют противопопригарные покрытия на спиртовой и водной основах.

Актуальность проблемы и постановка задачи

Требования, предъявляемые к противопопригарным покрытиям для литья по газифицируемым моделям отличаются от требований, предъявляемых к противопопригарным покрытиям, используемым в традиционных методах литья. Эти особенности связаны, прежде всего, с тем, что покрытия наносятся на поверхность пенополистирольных моделей, а не на поверхность литейной формы, как при литье в песчано-глинистые формы, кокиль и т. д.

Кроме основного требования к покрытию – предохранить поверхность отливки от пригара, при литье по газифицируемым моделям к покрытию также предъявляется требование по упрочнению модели и модельного блока в целом. Это упрощает их транспортировку от места изготовления к месту формов-

ки и предотвращает поломку блоков моделей во время формовки.

Важная роль отводится свойствам противопопригарных покрытий при удалении газообразных продуктов деструкции пенополистирола из зоны их образования, которое происходит через слой противопопригарного покрытия.

Большинство традиционно применяемых в литейном производстве противопопригарных покрытий оказались непригодными для ЛГМ по причине несмачиваемости поверхности модели, низкой газопроницаемости, высокой газотворности составляющих покрытия при заливке формы металлом, а также взаимодействия с материалом модели.

Противопригарные покрытия на спиртовой основе для литья по газифицируемым моделям вполне отвечают предъявленным требованиям, являются быстросохнущими и обеспечивают получение отливок из различных сплавов с высокой степенью чистоты поверхности. Однако при использовании их в производственных условиях возникают экологические проблемы. Поэтому возникла потребность в разработке покрытия для литья по газифицируемым моделям на водной основе.

Известны покрытия на основе водных растворов декстрина, бентонита и лигносульфоната технического, а также покрытия, где в качестве стабилизатора красочной суспензии использовали раствор натрийкарбоксиметилцеллюлозы, а основным связующим являются различные смолы [1].

В настоящее время находят применение противопопригарные покрытия для моделей ЛГМ следующих марок: ППУ-1, АПВД-2, Polytop FS 1, Polytop FS 3, а также быстросохнущие краски на водной основе [2], которые имеют в своем составе этиловый спирт и смолу СФЖ-309, отличающиеся повышенной газотворностью и экологической опасностью.

При этом на большинстве предприятий ЛГМ до недавнего времени широко использовали импортные модельные краски. «Законодателем мод» в этом отношении являлась фирма FOSECO. Однако в связи с антиросийскими санкциями Евросоюза поставка таких материалов прекращена, что ведет к закрытию целого ряда предприятий. В этом отношении очевидна необходимость импортозамещения в отношении модельных красок для литья по газифицируемым моделям.

В связи с этим технологической задачей, решаемой в ходе исследований, являлась разработка составов красок из отечественных материалов, которые обеспечили бы улучшение качества изготовления ЛГМ сложнопрофильных крупногабаритных стальных и чугунных отливок ответственного назначения за счет увеличения смачивающей и кроющей способности, повышения адгезии к полистирольной модели, увеличения газопроницаемости, термостойкости и противопопригарных свойств покрытия при его минимальной газотворности, ускоренном химическом отверждении и экологичности.

Теоретическое обоснование решения задачи

Для решения поставленной задачи представлялось целесообразным использовать помимо «традиционных» добавок (крахмал (загуститель), бентонит (стабилизатор), лигносульфонат технический (связующее и поверхностно-активное вещество), смачиватель ОП-7) следующие прогрессивные материалы. Для стального ЛГМ: водный раствор алюмоборфосфатного концентрата, периклаз порошкообразный, наноструктурированный алмазный порошок, электрокорунд белый. Для чугунного ЛГМ: указанные выше материалы, но вместо дорогостоящего электрокорунда – возвратная шихта электродного производства.

При выборе материалов исходили из следующих предпосылок.

Использование водного раствора алюмоборфосфатного концентрата в качестве связующего обеспечивает требуемые реологические свойства состава краски и его адгезию к полистирольной модели.

Введение в состав краски порошкообразного периклаза диктуется необходимостью ускоренного химического затвердевания суспензии на блоке моделей.

Применение в качестве наполнителя электрокорунда белого обеспечивает повышенные термостойкость и противопопригарную способность краски по отношению к углеродистым и легированным сталям. Использование огнеупорного наполнителя с размером зерна 30...40 мкм определяет высокую седиментационную устойчивость состава краски и требуемую газопроницаемость нанесенного на модель слоя.

Замена полностью или частично электрокорунда возвратной шихтой электродного

производства для чугунного ЛГМ позволяет снизить стоимость краски. При этом применение возвратной шихты электродного производства создает условия для рециклинга этого материала. Исследование фазового состава, проведенное с помощью рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV, показало следующий результат: карбид кремния 11...14 %; графит 73...77 %; кристобалит 1...2 %; силикаты (Al–Ca–Si–O) 9...15 %. Наличие графита и карбида кремния в составе покрытия обеспечивает высокие противопригарные свойства и дополнительный модифицирующий эффект для отливок из чугуна.

Введение в состав покрытия наноструктурированного алмазного порошка, частицы которого являются центрами кристаллизации, способствуют получению мелкозернистой структуры поверхностного слоя стальных и чугунных отливок и, тем самым, повышению их поверхностной твердости и прочности.

Наноструктурированный алмазный порошок состоит из тугоплавких ультрадисперсных частиц. Ультрадисперсный алмаз, или наноалмаз – это углеродная структура, имеющая кристаллическую решетку типа алмаза и размеры от 1...10 нм. При этом наиболее предпочтительно использовать алмазный порошок, полученный ударно-волновым синтезом [3]. В результате синтеза в сильнонерасовновесных условиях получают уникальные нанокристаллические структуры. Применяемый в составе покрытия материал имеет

средний размер частиц 125...135 нм, доля частиц размером менее 100 нм составляет порядка 20 %, что позволяет отнести используемый материал к наноструктурированному [4].

Структура наноструктурированного алмазного порошка, полученная на электронном растровом низковакуумном микроскопе JEOL JSM 6460LV, представлена на рис. 1.

Рентгенофазовый анализ используемого наноструктурированного порошка показал, что основной фазой в его составе является diamond (алмазная структура) (рис. 2). При этом значимое количество других фаз не было зафиксировано. Съемку проводили в отфильтрованном K_{α} -излучении медного анода на дифрактометре ДРОН-4-07, снабженном аппаратно-программным комплексом для автоматического управления и регистрации измерений. Комплекс содержит пакет программ для компьютерной обработки результатов измерений. Идентификацию фаз осуществляли с помощью программного обеспечения X-RAY путем сравнения экспериментальных рентгенограмм со стандартными штрих-рентгенограммами различных фаз базы данных международной картотеки PDF2.

Для особо ответственных отливок предполагается задействовать барботажно-ультразвуковую обработку суспензии покрытия.

Воздействие ультразвукового поля в процессе подготовки состава покрытия активизирует алюмоборфосфатное связующее, повышает его адгезию к гладким поверхностям сложно-

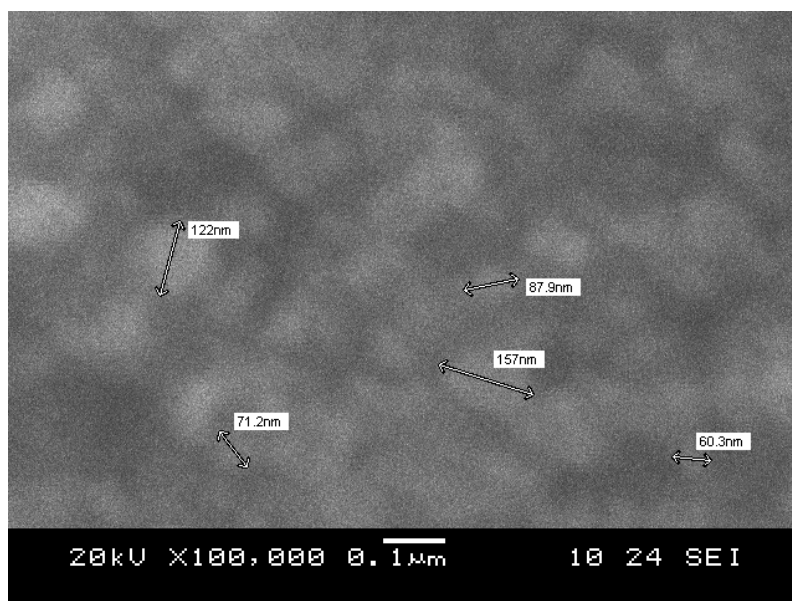


Рис. 1. Результаты растровой электронной микроскопии наноструктурированного алмазного порошка

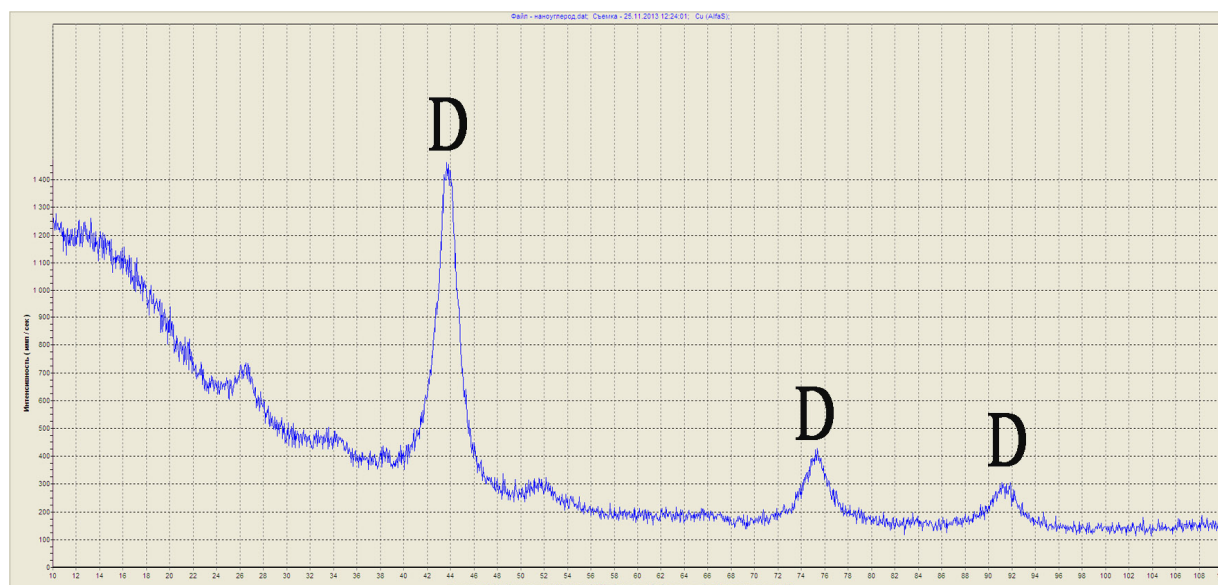


Рис. 2. Результаты рентгенофазового анализа наноструктурированного порошка: D – diamond

профильных полистирольных моделей. Применение барботаж одновременно с ультразвуковой обработкой состава покрытия обеспечивает существенное повышение газопроницаемости противопопригарного покрытия. Это наряду с низкой его газотворностью определяет оптимальный газовый режим формы в литье по газифицируемым моделям сложнопрофильных отливок ответственного назначения из стали и чугуна. Барботаж способствует насыщению газовыми пузырьками состава покрытия, а ультразвуковое воздействие за счет явления кавитации и акустических течений создает условия для диспергирования и равномерного распределения пузырьков в покрытии, что при дальнейшем его химическом отверждении вызывает образование открытой пористости с минимальным диаметром пор.

Экспериментальные исследования

Сравнительные показатели свойств противопопригарных покрытий представлены в табл. 1. В качестве базового рассматривался состав покрытия ППУ-1 (ТУ 4191-001-151102120-2012).

В ходе исследований определены оптимальные параметры барботажно-ультразвуковой обработки суспензий для приготовления противопопригарного покрытия в ЛГМ: интенсивность ультразвука 10...15 кВт/м²; частота ультразвука 20...22 кГц; расход воздуха при барботаже 0,5...1,5 л/с·м²; продолжительность барботажно-ультразвуковой обработки 60...90 с.

Определение противопопригарных свойств модельных красок проводилось на исследовательской партии отливок с наработкой 4 т стальных и 4 т чугунных отливок. Краску на-

Свойства противопопригарных модельных красок

Таблица 1

Наименование свойств	Базовый вариант	Разработанные составы	
		для стального ЛГМ	для чугунного ЛГМ
1. Вязкость по ВЗ-6, с	16	18	18
2. Седиментационная устойчивость, %	85	92	96
3. Краевой угол смачивания, град.	86	38	26
4. Работа адгезии покрытия к полистирольной модели, мДж/м ²	98	139	148
5. Остаточная влажность, %	3,8	1,5	1,3
6. Газотворность покрытия, см ³ /г	5,5	2,0	2,6
7. Газопроницаемость покрытия, ед.	8,5	48	53
8. Огнеупорность, °С	1720	1750	1780

Таблица 2

Свойства опытных отливок

Наименование показателя	Базовый вариант	Разработанные составы	
		для стального ЛГМ	для чугуна ЛГМ
1. Доля отливок без пригара, %	85	96	98
2. Доля отливок без газовых раковин, %	88	97	97
3. Доля отливок, имеющих соответствие геометрических размеров классу точности по ГОСТ Р 53464–2009, %	90	99	99

носили обливом. Температура заливки стали – 1560...1590 °С, чугуна – 1370...1420 °С. Отливки перед испытаниями подвергались термообработке в соответствии с техническими требованиями на отливку и дробеметной очистке. Далее проводился визуальный осмотр экспериментальной отливки на наличие дефектов (наличие пригара, раковин), а также проверялась точность геометрии. По каждому составу определялась доля бездефектных отливок от их общего количества. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Заключение

В результате исследований разработаны составы противопригарных красок для стального и чугунного литья по газифицируемым моделям. Предлагаемые краски являются экологически безопасными, водными, химически отверждаемыми, термостойкими. Их использование обеспечивает существенное снижение брака (по газовым раковинам, неточности геометрии, пригару и др.) стальных и чугунных отливок ответственного назначения и улучшение экологической обстановки в цехе. Учитывая повышенные технологические свойства, краски рекомендуются к применению на отечественных и зарубежных предприятиях литья по газифицируемым моделям.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание высокотехнологичного литейного производства по газифицируемым моделям с использованием экзотермических процессов и наноструктурированных материалов» по договору № 02.G25.31.0183 от 26.04.2016 г. между Министерством образования и науки Российской Федерации и Обществом с ограниченной ответственностью Производственная компания «Ходовые системы» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Литература

1. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: справ. / А.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, С.С. Жуковский и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.
2. Давыдов, Н.И. Литейные противопригарные покрытия: справочник / Н.И. Давыдов. – М.: Машиностроение, 2009. – 240 с.
3. Даниленко, В.В. Синтез и спекание алмаза взрывом / В.В. Даниленко. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.
4. ГОСТ Р 56085–2014. Нанотехнологии. Часть 4. Материалы наноструктурированные. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

Знаменский Леонид Геннадьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры пирометаллургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; znamenskiilg@susu.ru.

Ивочкина Ольга Викторовна, канд. техн. наук, доцент кафедры пирометаллургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; ivochkinaov@susu.ru.

Варламов Алексей Сергеевич, канд. технических наук, доцент кафедры пирометаллургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; varlamovas@susu.ru.

Франчук Анастасия Николаевна, студент кафедры пирометаллургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск.

Южакова Анастасия Алексеевна, студент кафедры пирометаллургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск.

Поступила в редакцию 6 декабря 2016 г.

DOI: 10.14529/met170107

DOMESTIC PAINTS FOR LOST FOAM CASTING

L.G. Znamenskii, znamenskii@l@l@susu.ru,

O.V. Ivochkina, ivochkinaov@susu.ru,

A.S. Varlamov, varlamovas@susu.ru,

A.N. Franchuk,

A.A. Yuzhakova

South Ural State University, Chelybinsk, Russian Federation

Actual technological task in lost foam casting (LFC) is preventing metal penetration appearance on the steel and cast-iron mouldings. In the result of the research appropriate parting model paint compositions are developed with the use of recycling and nanostructured materials. They include not only "traditional" extenders (starch (viscosifier), bentonite (stabilisator), technical lignosulfonates (bonding and surface-active material), penetrant OP-7) but also the following progressive materials. For steel LFC: aqueous solutions of alumina-boric-phosphate concentrate, powdered periclase, nanostructured diamond powder, white electrocorundum. For cast-iron LFC: the above-mentioned materials, but instead of the expensive electrocorundum a reversal bath of electrode production is used. The basic technological characteristics of the developed parting model paint compositions are: relative stickiness due to VZ-6: 18...25 s; residual moisture content 1...1.5 %, permeability to gases 40...50 ea. For sensitive castings it is supposed to involve bubble ultrasonic machining of coating suspension. Exposure to ultrasonic field in the process of coating composition preparing activate alumina-boric-phosphate bonding, rise its adhesion to minute surfaces of figurine polystyrene models. The use of bubbling together with ultrasonic processing of the coating composition provides major improvements in permeability to gases of the antipenetration wash. Parting paint effectiveness is determined by defect reduction of the castings on the core blow, uncertainty in geometry, metal penetration, and also the use of available and environmentally friendly molding materials in their composition, that makes the product to be highly competitive.

Keywords: parting model paint; lost foam casting; recycling; nanostructured materials; bonding; filler.

References

1. Boldin A.N., Davydov N.I., Zhukovskiy S.S. *Liteynye formovochnye materialy. Formovochnye, sterzhnevye smesi i pokrytiya: spravochnik* [Foundry Molding Materials. Molding, Core Sand Mixtures and Coatings: Reference Book]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006. 507 p.

2. Davydov N.I. *Liteynye protivoprigarnye pokrytiya: spravochnik* [Foundry Antipenetration Washes: Reference Book]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009. 240 p.

3. Danilenko V.V. *Sintez i spekanie almaza vzryvom* [Diamond Synthesis and Sintering with Explosion]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2003. 272 p.

4. GOST R 56085–2014. *Nanotekhnologii. Chast' 4. Materialy nanostrukturirovannye. Terminy i opredeleniya* [State Standard 56085–2014. Nanotechnologies. Part 4. Nanostructured materials. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p.

Received 6 December 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Отечественные краски для литья по газифицируемым моделям / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, А.С. Варламов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 58–64. DOI: 10.14529/met170107

FOR CITATION

Znamenskii L.G., Ivochkina O.V., Varlamov A.S., Franchuk A.N., Yuzhakova A.A. Domestic Paints for Lost Foam Casting. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 58–64. (in Russ.) DOI: 10.14529/met170107
