

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 669.15 – 194.56 : [621.744.079 : 666.76.32]

Феоктистов Н.А., Пивоварова К.Г., Понамарева Т.Б., Чернов В.П., Кулаков Б.А., Дубровин В.К.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА САМОВЫСЫХАЮЩЕЙ ПРОТИВОПРИГАРНОЙ КРАСКИ НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО АЛЮМОХРОМОВОГО КАТАЛИЗАТОРА

Аннотация. Современным литейным производством ставятся задачи по снижению себестоимости, повышению качества и товарного вида отливок, их точности, а также по повышению экологической безопасности производства. Решение этих задач во многом связано с разработкой новых противопригарных составов и их оптимизации с помощью методов планирования эксперимента. В данной статье приведены результаты исследования с применением полного факторного эксперимента 2^3 для оптимизации свойств и компонентного состава противопригарной краски на основе огнеупорного наполнителя алюмохромового порошка, связующего – поливинилбутирала в комбинации с модифицированной фенолоформальдегидной смолой марки СФПР–050 и растворителя – изопропилового спирта. В ходе проведения экспериментов были получены математические зависимости вязкости, плотности, толщины красочного слоя и прочности от количества огнеупорного наполнителя алюмохромового порошка, связующего поливинилбутирала и фенолоформальдегидной смолы. На основании полученных уравнений выбраны оптимальные соотношения между связующим и наполнителем, которые были использованы при замешивании краски, обеспечивающие наилучшие технологические свойства покрытия. Полученные математические зависимости являются эффективным аппаратом оперативного регулирования составов краски в условиях нестабильности свойств используемых материалов и вариации параметров технологического процесса. Практическое использование результатов исследований позволит получать преимущественно реальный экономический эффект не только за счет снижения себестоимости литейной краски в сравнении с цирконовой, но и повышения качества поверхности отливок, снижения затрат на отделение пригара от отливок.

Ключевые слова: противопригарная краска, самовысыхающие покрытия, алюмохромовый наполнитель, метод математического планирования, вязкость, прочность

В последние годы при производстве отливок более широко применяются технологии изготовления стержней и форм из холоднотвердеющих смесей (ХТС-процесс), покрытие которых осуществляют самовысыхающими (неводными) противопригарными красками (ПК). Из-за большого числа применяемых органических растворителей, связующих и стабилизирующих веществ составы неводных красок более разнообразны, по сравнению с водными. Среди всего многообразия составов широкое применение находят цирконовые краски. Их используют, когда необходима высокая термозащита и чистота поверхности отливок из чугуна и стали [1].

Неводные ПК представляют собой суспензию, включающую огнеупорный наполнитель (основу), связующее, суспензирующее вещество и органический растворитель, обеспечивающие получение системы с заданными технологическими свойствами.

Применяемые в настоящее время неводные противопригарные цирконовые покрытия, в том числе на ООО «МРК» ЛК-22Ц (ТУ 2223-003-81482096-2017), имеют сравнительно высокие технологические и эксплуатационные свойства, обеспечивают высокое ка-

чество литья, но для приготовления данных составов необходим дефицитный и дорогостоящий цирконовый концентрат, закупаемый в других странах. В связи с изменением логистических цепочек поставки его в нашу страну связаны с высокими транспортными расходами. Кроме того, он радиоактивен и, как следствие, является экологически небезопасным [2].

В связи с этим разрабатываются новые составы, которые будут способны заместить существующие и расширить ассортимент литейных красок. Поэтому поиск новых, дешевых и недефицитных наполнителей, в том числе и отходов производств техногенного происхождения, является одним из основных условий в достижении повышения качества и снижения себестоимости отливок.

Известно [3], что на некоторых заводах нефтехимической промышленности имеются промежуточные продукты производства, которые после переработки используются в разных отраслях промышленности. Наиболее востребованным из отходов является отработанный алюмосиликатный катализатор ИМ-2201, используемый при получении синтетического каучука [4–9].

По составу отработанные катализаторы имеют практически постоянный состав с содержанием хрома в виде оксида, в основном от 16 до 20%. Помимо ок-

© Феоктистов Н.А., Пивоварова К.Г., Понамарева Т.Б., Чернов В.П., Кулаков Б.А., Дубровин В.К., 2023

сида хрома в составе имеются оксид алюминия, примерно 70–75%, возможно содержание оксида кремния (12–13%) и незначительное количество других оксидов, в основном щелочных и щелочноземельных металлов. Продукт обладает высокой огнеупорностью, нерадиоактивен, не горюч, не токсичен, с неограниченным сроком хранения, прошел экологическую экспертизу, не дефицитен и рекомендован к использованию в качестве мелкодисперсного огнеупорного наполнителя в противопопригарных красках [10–12].

Компонентный состав красок определяет технологические свойства противопопригарных покрытий и их дальнейшую область применения. Большинство самовысыхающих противопопригарных покрытий, в том числе и на основе алюмохромового наполнителя [13, 14], обладают невысокой термостойкостью, в связи с этим их применяют для покрытия форм и стержней, испытывающих при заливке металла небольшие термические нагрузки, то есть для получения мелких и средних отливок, преимущественно из чугуна и цветных металлов. Поскольку применяемые органические связующие разлагаются при нагреве в интервале температур 200–450°C, то для повышения термостойкости покрытий используют связующие в сочетании с другими более стойкими добавками, например кремнийорганическими лаками, древесным пеком, фенолоформальдегидными смолами и др.

Исходя из анализа литературных данных и результатов собственных исследований, были выбраны для разрабатываемого неводного противопопригарного покрытия в качестве огнеупорного наполнителя алюмохромовый порошок, связующего – поливинилбутираль в комбинации с модифицированной фенолоформальдегидной смолой марки СФПР–050 и растворителя – изопропиловый спирт.

При разработке состава необходимо учитывать взаимное влияние компонентов краски и их соотношение на свойства покрытия. Соотношение огнеупорного наполнителя и связующего материала с растворителем (лаком) оказывает решающее воздействие на такие технологические свойства покрытий, как седиментация, прочность, проникающая и кроющая способность и т.д. [14]. Поэтому приготовление наиболее эффективных покрытий требует оптимизации компонентного состава.

В настоящее время в экспериментальных исследованиях широко применяются методы планирования эксперимента [15–18], в связи с тем, что традиционные методы исследований требуют больших затрат сил и средств, так как основаны на поочередном варьировании отдельных независимых переменных в условиях, когда остальные переменные остаются постоянными. Кроме того, сложность такого эксперимента определяется числом всевозможных комбинаций значений переменных (факторов).

Целью данной работы является разработка состава неводной ПК на основе алюмохромового наполнителя методом математического планирования,

позволяющим сократить время разработки и получить продукт высокого качества.

С целью подбора оптимального количества между связующим и наполнителем осуществлялось планирование эксперимента для диаграмм состав–свойство. В данной работе рассмотрена методика полного факторного эксперимента 2³. Данным методом изучали влияние количества наполнителя и связующего полимера на технологические свойства неводной краски. Существенное влияние на эффективность применения ПК при производстве отливок оказывают рабочие свойства красок. Из них наиболее значимыми являются толщина высушенного слоя, определяющая противопопригарные свойства покрытия, и его прочность. Важную роль в образовании красочного слоя (КС) равномерной толщины оказывают условная вязкость (далее вязкость) и плотность ПК, которые тесно взаимосвязаны.

В ходе эксперимента варьировались три переменных фактора: количество алюмохромового наполнителя – X₁; количество связующих фенолоформальдегидной смолы – X₂ и поливинилбутирала – X₃.

В качестве функции отклика были выбраны следующие параметры (табл. 1), которые являются наиболее информативными, объективно характеризующими качество и технологические свойства противопопригарной краски (покрытия) и не требующими длительных и трудоемких испытаний.

Таблица 1

Параметры оптимизации и их граничные значения

Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Ед. изм.	Граничное значение функции отклика
Y ₁	Вязкость условная по вискозиметру ВЗ-246 (сопло диаметром 4 мм), при (20 ± 0,5)	°С	Не менее 16, Не более 25
Y ₂	Плотность (20 ± 0,2)	г/см ³	Не менее 1,6
Y ₃	Толщина окрашенного слоя	мм	Не менее 0,5
Y ₄	Прочность покрытия к истиранию	кг/мм	Не менее 2,5

Основной уровень и интервал варьирования по каждому переменному фактору, верхний и нижний уровень в натуральных и кодированных обозначениях приведены в табл. 2.

Таблица 2

Уровни планирования эксперимента

Уровень варьирования	Переменные факторы		
	(X ₁) ОАК	(X ₂) ФФС	(X ₃) ПВБ
Основной (X ₀)	50	1,5	1
Интервал варьирования (ΔX _i)	5	0,5	0,2
Верхний (x _i = + 1)	55	2,0	1,2
Нижний (x _i = - 1)	45	1,0	0,8

Исследуемые составы и план эксперимента представлены в табл. 3.

Таблица 3

План экспериментов 2^3 в кодовом и натуральном масштабах и результаты экспериментов

Номер опыта	Кодовый масштаб			Натуральный масштаб			Функция отклика			
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	-	-	-	45	1	0,8	14,1	1,22	0,41	2,030
2	+	-	-	55	1	0,8	14,7	1,40	0,52	2,118
3	-	+	-	45	2	0,8	15,2	1,31	0,44	2,394
4	+	+	-	55	2	0,8	15,8	1,48	0,61	2,489
5	-	-	+	45	1	1,2	17,1	1,30	0,49	2,509
6	+	-	+	55	1	1,2	17,9	1,45	0,67	2,638
7	-	+	+	45	2	1,2	19,0	1,37	0,55	2,817
8	+	+	+	55	2	1,2	20,2	1,60	0,80	2,984

В результате обработки экспериментальных данных [19] были созданы математические модели в виде уравнения, связывающего параметры оптимизации: вязкости (1), плотности (2), толщины окрашенного слоя (3) и прочности (4) с переменными факторами в кодированных значениях (1)–(4) и в натуральных (5)–(8).

$$Y_1 = 16,75 + 0,40x_1 + 0,80x_2 + 1,80x_3 + 0,25x_2x_3, \quad (1)$$

$$Y_2 = 1,391 + 0,091x_1 + 0,049x_2 + 0,039x_3, \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,561 + 0,089x_1 + 0,039x_2 + 0,066x_3 + 0,016x_1x_2 + 0,019x_2x_3, \quad (3)$$

$$Y_4 = 2,497 + 0,060x_1 + 0,174x_2 + 0,240x_3. \quad (4)$$

$$y_1 = 5,1 + 0,08X_1 - 0,9X_2 + 5,25X_3 + 2,5X_2X_3, \quad (5)$$

$$y_2 = 0,139 + 0,0182X_1 + 0,098X_2 + 0,195X_3, \quad (6)$$

$$y_3 = 0,654 - 0,0108X_1 - 0,242X_2 - 0,62X_3 + 0,0064X_1X_2 + 0,019X_1X_3, \quad (7)$$

$$y_4 = 0,175 + 0,012X_1 + 0,348X_2 + 1,2X_3, \quad (8)$$

Для проверки адекватностей полученных моделей в кодированном виде воспользовались F -критерием. Результаты рассчитанных и табличных значений представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сопоставление расчетных и табличных значений F -критерия

	$F^{расч}$	$F^{табл}$
Вязкость	1,19	3,29
Плотность	1,45	3,06
Толщина окрашенного слоя	1,09	3,68
Прочность покрытия	0,42	3,06

Из табл. 4 видно, что для всех технологических свойств, выбранных в качестве параметров оптимизации, выполняется условие $F^{расч} < F^{табл}$. Таким образом, гипотеза об адекватности моделей не отвергается для всех полученных уравнений.

По полученным уравнениям (5)–(8) и в соответствии с принятыми граничными значениями функций отклика определен оптимальный диапазон концентраций компонентов краски, представленный в табл. 5.

Таблица 5

Компонентный состав новой самовысыхающей противопопригарной краски

Наименование компонентов	Количество компонентов, мас. %
Отходы алюмохромового порошка	45-55
Поливинилбутираль	0,9-1,2
Фенолоформальдегидная смола СФПР-050	1,0-2,0
Изопропиловый спирт	Остальное до 100 % и необходимой плотности

Таким образом, в результате проведенных работ методом математического планирования эксперимента определен оптимальный состав неводной противопопригарной краски на основе алюмохромового порошка с заданными технологическими свойствами. При этом уменьшается стоимость литейной краски за счет низкой стоимости алюмохромового порошка, являющегося отходом нефтехимической промышленности при производстве катализаторов дегидрирования углеводородов.

Проведённые испытания «горячие испытания» краски в литейной лаборатории показали, что её применение обеспечивает получение поверхности отливки высокой чистоты, а также отсутствие пригара. Кроме того, не возникло проблем с нанесением слоя краски на поверхность литейной формы. В процессе окрашивания рабочей поверхности формы краска ложилась ровным слоем, после высушивания методом поджигания не обнаружено растрескивание окрашенного слоя.

Список литературы

1. Белобров Е.А. Цирконовые противопопригарные краски // Информационно-технический бюллетень «Литье Украины». 2013. № 12 (160) с. 37-41.
2. Кукуй Д.М., Андрианов Н.В. Теория и технология литейного производства. Формовочные материалы и смеси: учебное пособие. Мн.: БНТУ, 2005. 361 с.
3. Получение эффективных огнеупорных футеровочных материалов на основе отходов производства / А.И. Хлыстов, А.В. Божко, С.В. Соколова, Р.Т. Рязов // Успехи современного естествознания. 2004. № 2. С. 131-133.
4. Козловская И.Ю., Марцунь В.Н. Кислотное выщелачивание редкоземельных элементов из отработанного катализатора крекинга углеводородов

- нефти // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганических веществ. 2011. Вып. XIX. С. 75-78.
5. Казакова Ю.М., Хусаинова Р.М., Вольфсон С.И. Катализаторы дегидрирования в качестве наполнителя резиновых смесей // Каучук и резина. 2008. № 4. С. 30-32.
 6. Хусаинова Р.М., Дорожкин В.П. Способы утилизации отработанных промышленных катализаторов // Отходы производства и потребления: проблемы, методы, решения: сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. Пенза, 1995. С. 53.
 7. Вилшкерст Я.Я. Огнеупорные клеи на основе отработанного алюмохромового катализатора и фосфатных связующих: автореф. ... канд. техн. наук. Рига, 1988. 24 с.
 8. Физико-механические свойства керамики на основе легкоплавкой глины, модифицированной отходами производства алюмохромового катализатора / А.Ф. Хузин, А.А. Ламберов, С.Р. Егорова, О.В. Стоянов, М.Г. Габидуллин // Вестник технологического университета. 2015. Т.18, № 16. С. 89-91.
 9. Петров И.Я., Трясунов Б.Г. Структура и фазовый состав окисленных ванадийтитановых и ванадийциркониевых катализаторов // Вести КузГТУ. 2007. № 4. С. 50-57.
 10. Пат. 2722845 Российская Федерация, МПК С1 Противопригарная краска для литейных форм и стержней / Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Пивоварова К.Г., Понамарева Т.Б.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» – № 2019138298; заявл. 27.11.2019; опубл. 04.06.2020. Бюл. № 16.
 11. Применение техногенных отходов в качестве наполнителя противопригарных красок / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, К.Г. Пивоварова, Т.Б. Понамарева // Литейное производство. 2019. № 3. С. 22-25.
 12. Пат. 2689473 Российская Федерация, МПК С1 В22С 3/00 Противопригарное покрытие для литейных форм и стержней / Е.Г. Антошкина; патентообладатель Е.Г. Антошкина № 2018136196; заявл. 12.10.2018; опубл. 28.05.2019. Бюл. № 16.
 13. Баранов О.Г. Исследование и разработка противопригарных покрытий на модифицированном жидкостекольном связующем: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1996. 187 с.
 14. Головня А.А. Применение материала техногенного происхождения для повышения качества отливок и ресурсосбережения в литейном производстве: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2002. 127 с.
 15. Ординарцева Н.П. Планирование эксперимента в измерениях // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. № 03 (79). 2013. С. 72-76.
 16. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.
 17. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
 18. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
 19. Титов А.Ю. Повышение качества художественных отливок, изготавливаемых в формы из холоднотвердеющих смесей, за счет устранения пригара и увеличения жидкотекучести медных сплавов: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2016. 123 с.

Сведения об авторах

Феоктистов Николай Александрович – заведующий кафедрой литейных процессов и материаловедения, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: fna87@mail.ru

Пивоварова Ксения Григорьевна – профессор кафедры технологий обработки материалов, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Понамарева Татьяна Борисовна – аспирант кафедры литейных процессов и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Чернов Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры литейных процессов и материаловедения Института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: tchernov@magtu.ru

Кулаков Борис Алексеевич – профессор кафедры пирометаллургических и литейных технологий, доктор технических наук, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия. E-mail: kulakovba@susu.ru

Дубровин Виталий Константинович – доцент кафедры пирометаллургических и литейных технологий, доктор технических наук, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия. E-mail: dubrovinvk@susu.ru

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF SELF-DRYING NON-STICK PAINT BASED ON SPENT ALUMOCHROME CATALYST

Feoktistov Nikolai A. – PhD (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia E-mail: fna87@mail.ru

Pivovarova Ksenia G. – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Ponamareva Tatyana B. – graduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Chernov Viktor P. – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the department of foundry and material science, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: tchernov@magtu.ru

Kulakov Boris A. – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chelyabinsk, Russia. E-mail: kulakovba@susu.ru

Dubrovin Vitaly K. – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chelyabinsk, Russia. E-mail: dubrovinvk@susu.ru

Abstract. Modern foundry production sets tasks to reduce the cost, improve the quality and presentation of castings, their accuracy, as well as to improve the environmental safety of production. The solution of these problems is largely connected with the development of new non-stick formulations and their optimization using experimental planning methods. This article presents the results of a study using a complete factor experiment 2³ to optimize the properties and component composition of a non-stick paint based on a refractory filler of alumochrome powder, a binder – polyvinyl butyral in combination with a modified phenol-formaldehyde resin of the SFPR-050 brand and a solvent – isopropyl alcohol. During the experiments, mathematical dependences of viscosity, density, thickness of the paint layer and strength on the amount of refractory filler alumochrome powder, polyvinyl butyral binder and phenol-formaldehyde resin were obtained. Based on the obtained equations, the optimal ratios between the binder and the filler were selected, which were used when mixing the paint, providing the best technological properties of the coating. The obtained mathematical dependences are an effective apparatus for the operational regulation of paint compositions in conditions of instability of the properties of the materials used and variations in the parameters of the technological process. The practical use of the research results will allow the company to obtain a real economic effect not only by reducing the cost of casting paint in comparison with zirconium, but also by improving the surface quality of castings, reducing the cost of separating the prig from castings.

Keywords: non-stick paint, self-drying coatings, alumochrome filler, mathematical planning method, viscosity, strength.

Ссылка на статью:

Оптимизация состава самовысыхающей противопригарной краски на основе отработанного алюмохромового катализатора / Н.А. Феоктистов, К.Г. Пивоварова, Т.Б. Понамарева, В.П. Чернов, Б.А. Кулаков, В.К. Дубровин // Теория и технология металлургического производства. 2023. №3(46). С. 25-29.

Feoktistov N.A., Pivovarova K.G., Ponamareva T.B., Chernov V.P., Kulakov B.A., Dubrovin V.K. Optimization of the composition of self-drying non-stick paint based on spent alumochrome catalyst. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 46, no. 3, pp. 25–29.