

Моделирование и стабилизация свойств холоднотвердеющих смесей на основе ОФОС

Рассмотрены вопросы стабилизации составов холоднотвердеющих смесей на основе олигофурфурилоксисилоксанов (ОФОС). Свойства смесей моделировали с помощью уравнений регрессии, полученных методом планируемого эксперимента. Все измерения проводились по стандартным методикам. Для управления свойствами смесей разработана номограмма, описывающая зависимости между параметрами технологии и свойствами формовочных смесей.

Ключевые слова: моделирование, оптимизация, стабилизация, холоднотвердеющая смесь, олигофурфурилоксисилоксан, катализатор, прочность, живучесть

Постановка проблемы и состояние вопроса. Получение смесей с заданными свойствами является традиционной задачей литейного производства. Основные требования к качеству формовочных смесей были сформулированы такими учеными, как П. П. Берг, С. П. Дорошенко, Ю. А. Степанов, А. Ветишка и др.

Однако по существующим данным 40-60 % дефектов отливок обусловлено неудовлетворительным качеством формовочных материалов и смесей [1]. Это объясняется либо неправильным выбором уровня их основных физико-механических показателей, либо высокой степенью разброса этих показателей в условиях литейного производства.

Задача управления и стабилизации свойств смесей сводится к выбору оптимальных средних значений управляемых характеристик смесей и допустимых интервалов их изменения.

При решении вопроса повышения эффективности управления свойствами формовочных смесей и их стабилизации используют два подхода: эмпирический (рецептура и технология приготовления смесей разрабатываются и корректируются непосредственно в производственных условиях) и расчетно-аналитический (параметры технологии приготовления смесей определяются с помощью математических моделей) [1, 2].

Эмпирический подход решения задачи характеризуется большой трудоемкостью, значительным риском получения некачественной продукции в процессе разработки технических условий, а его результаты пригодны только для конкретных изученных условий производства отливок. Рекомендации по выбору составляющих, а также рецептуры смесей носят эмпирический характер, учитывающий ограниченное количество переменных, они недостаточно надежны и не могут быть использованы в других условиях производства.

Для решения задачи управления свойствами формовочных смесей и их стабилизации в последнее время широко применяется расчетно-аналитический метод на основе планируемого

эксперимента [3, 4]. Такой подход открывает новые возможности для управления свойствами формовочных смесей благодаря оперативности регулирования процесса при изменении свойств исходных материалов и номенклатуры изготавливаемых отливок. На основе только такого подхода возможно создание автоматизированных систем управления процессом приготовления формовочных смесей.

Повышение качества формовочных смесей за счет стабилизации их свойств – одна из актуальных задач литейного производства, решение которой может быть получено на основе перехода к гибкой системе управления выходными параметрами формовочной смеси, обладающей способностью адаптации к колебаниям характеристик исходных формовочных материалов и параметров приготовления смеси. Практическая реализация этого принципа возможна только на основе надежных математических моделей свойств формовочной смеси.

На сегодняшний день в литейном производстве все больше внимания уделяется холоднотвердеющим смесям с синтетическими смолами. Это объясняется их высокой прочностью при небольшом расходе, возможностью регулирования скорости отверждения смеси в большом диапазоне, а также в отсутствие необходимости в сушильном оборудовании, благодаря чему существенно упрощается и сокращается цикл изготовления отливки [5].

Разработанный в НТУ «ХПИ» олигомер на основе олигофурфурилоксисилоксанов (смола ОФОС) на сегодня полностью удовлетворяет всем современным требованиям, предъявляемым к связующим материалам в литейном производстве. Основной особенностью связующего является отсутствие в его составе отравляющих веществ, благодаря чему оно признано экологически чистым. В процессе термодеструкции при заливке металла в атмосферу выделяются углекислый газ и пары воды и остается твердый неорганический остаток – диоксид кремния [5].

Цель исследования – стабилизация свойств холоднотвердеющих смесей со связующим ОФОС на

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Порядок реализации	Количество ПТСК x_1 , вес. ч.	Концентрация ПТСК x_2 , %	Количество смолы x_3 , вес. ч.	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	y_1	y_2
1	4	1,5	70	3	+	+	+	+	+	+	+	0,78	3
2	3	0,5	70	3	+	-	+	+	-	-	+	0,17	5
3	8	1,5	50	3	+	+	-	+	-	+	-	1,21	8
4	5	0,5	50	3	+	-	-	+	+	-	-	0,35	10
5	7	1,5	70	1	+	+	+	-	+	-	-	0,78	4
6	2	0,5	70	1	+	-	+	-	-	+	-	0,42	7
7	1	1,5	50	1	+	+	-	-	-	-	+	1,76	11
8	6	0,5	50	1	+	-	-	-	+	+	+	1,57	12

основе моделирования их свойств с помощью уравнений регрессии, полученных методом планируемого эксперимента.

Результаты исследований. Кварцевый песок марки 2К10102 (ГОСТ 2138-91) использовали в качестве наполнителя при приготовлении смеси, которую готовили традиционным для ХТС способом: на 100 в. ч. кварцевого песка (ГОСТ 29234.0-91) добавляли 1,0 в. ч. 50-70%-ного водного раствора кислотного катализатора, смесь тщательно перемешивали на протяжении 60 с, затем к этой смеси добавляли 2 в. ч. связующего и снова тщательно перемешивали на протяжении 120 с. Смесь заформовывали в 9-местную пресс-форму, которая используется для исследования свойств ХТС.

Для моделирования свойств смеси на основе ОФОС был проведен планируемый эксперимент, матрица проведения которого приведена в таблице.

Основные физико-механические показатели свойств формовочной смеси (прочность на сжатие и живучесть, y_1 и y_2 соответственно) были выбраны выходными параметрами. Независимыми переменными, определяющими качество песчано-смоляной

смеси, приняты количество (x_1), концентрация (x_2) используемого катализатора и количество введенной в смесь смолы (x_3). В качестве катализатора применяли паратолуолсульфоокислоту (ПТСК).

Для исследований использовали план факторного эксперимента 2^3 , содержащий 8 опытов.

Чтобы исключить влияние систематических ошибок, вызванных внешними условиями, опыты, заданные матрицей планирования, проводили в случайной последовательности, то есть рандомизированно во времени. Порядок проведения опытов выбирали по таблице случайных чисел.

В каждой точке плана проводили 3-5 параллельных измерений для повышения точности определения коэффициентов регрессии. Подсчитали дисперсии воспроизводимости для каждого опыта, а также рассчитали коэффициенты модели и проверили их статистическую значимость для каждого исследуемого параметра с помощью критерия Стьюдента.

После вычисления коэффициентов регрессии и проверки их значимости провели статистический анализ полученной модели, для чего проверили гипотезу об адекватности данного уравнения с помощью критерия Фишера.

В результате обработки полученных данных получили следующую систему уравнений в кодированном масштабе

$$y_1 = 0,87 + 0,27x_1 - 0,36x_2 - 0,27x_3 + 0,13x_1x_3 + 0,18x_2x_3;$$

$$y_2 = 7,24 - 0,9x_1 - 2,09x_2 - 1,325x_3.$$

На основе разработанных математических моделей создана номограмма (рисунок), описывающая зависимости между параметрами технологии и свойствами формовочных смесей, на основе которой возможна корректировка параметров процесса смесеприготовления за счет изменения количества вводимых составляющих смеси и их концентрации, что может быть использовано для оперативного управления свойствами смеси. Номограмма является средством графического решения этой задачи.

Многоугольник ABCDE состоит из множества точек, соответствующих

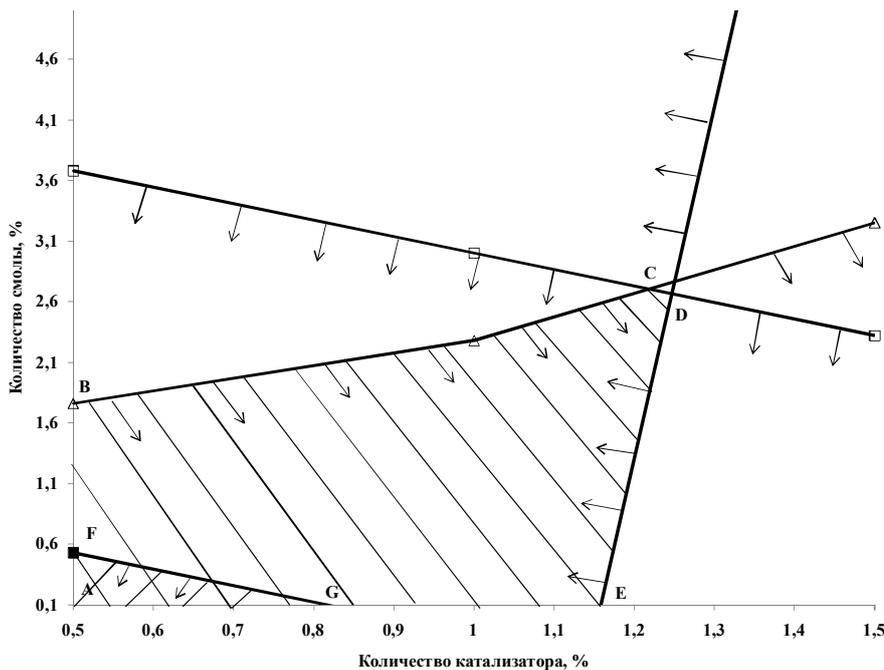


Рис.

Номограмма для определения оптимального состава смеси на основе ОФОС:
 ▲ 70 % 1,1 МПа, △ 50 % 1,1 МПа, ■ 70 % 8 мин, ▣ 50 % 8 мин

ющих требованию к качествам формовочной смеси. При построении номограммы в полученные уравнения регрессии для прочности и живучести смеси подставляли значения факторов в кодированном масштабе, которые рассчитывали из соответствующих значений в натуральном масштабе по формулам

$$x_1 = \frac{x_n - 1}{0,5}; x_2 = \frac{x_{2n} - 60}{10}; x_3 = \frac{x_{3n} - 2}{1},$$

где x_n – количество катализатора; x_{2n} – концентрация катализатора; x_{3n} – количество смолы.

При построении номограммы считали, что физико-механические свойства песчано-смоляной смеси должны удовлетворять следующим требованиям: прочность смеси на сжатие – не менее 1,1 МПа, живучесть – не менее 8 мин. Согласно этому условию на номограмме заштриховали две области – зоны стабильных свойств смеси. Стрелками показано направление в сторону увеличения прочности и живучести смеси.

Пятиугольник *ABCDE* является зоной оптимума для смесей на основе ОФОС с концентрацией катализатора 50 %. Треугольник *AFG* – зона оптимума для смесей на основе ОФОС при использовании 70%-ного катализатора.

Таким образом, в составе ХТС на основе ОФОС количество катализатора может изменяться (%) в диапазоне от 0,50 до 1,25; концентрация катализа-

тора – 50-70; количество смолы – от 0,5 до 2,0.

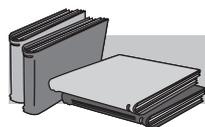
Выводы

1. При анализе полученных данных на основе уравнений регрессии можно отметить следующее: влияние варьируемых факторов на параметры оптимизации соответствует теоретическим представлениям о формировании свойств смеси при ее приготовлении.

Прочность смеси понижается с увеличением количества связующего ОФОС и концентрации катализатора ПТСК. Живучесть смеси уменьшается с увеличением концентрации катализатора. На параметры процесса смесеприготовления также влияют парные взаимодействия входных составляющих.

2. Использование номограммы позволяет стабилизировать свойства ХТС в промышленных условиях и дает возможность предсказать прочность и живучесть этих смесей того или иного состава, а также определить для них необходимый состав смеси.

3. Разработанные рекомендации по стабилизации свойств смесей показали практическую целесообразность и были использованы для получения качественных смесей на ОАО «Турбоатом» (г. Харьков), что позволило ликвидировать брак пористости бронзовых отливок.



ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев Б. Б., Корнюшкин О. А., Кузьмин А. В. Формовочные процессы. – Л.: Машиностроение, 1987. – 262 с.
2. Курченко А. Б. Логический поиск рекомендаций по стабилизации качества литья // Технология и организация пр-ва. – 1983. – № 3. – С. 5-7.
3. Гуляев Б. Б. Планирование эксперимента при разработке составов формовочных смесей // Специальные способы литья. – Л.: Машиностроение, 1974. – С. 58-67.
4. Пономаренко О. И. Оптимизация технологических решений для цехов литейного производства. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.
5. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.
6. Пат. 23593, Україна. МПК С07F7/00. Спосіб одержання холоднотвердіючих сумішей / А. М. Каратєєв, О. І. Пономаренко, Н. С. Євтушенко та ін. – Опубл. 25.05.2007, Бюл. № 7.

Анотація

Євтушенко Н. С., Бережна А. В.

Моделювання та стабілізація властивостей холоднотвердіючих сумішей на основі ОФОС

Розглянуто питання оптимізації складів холоднотвердіючих сумішей на основі олігофурфурилоксисилоксанів (ОФОС). Властивості сумішей моделювали за допомогою рівнянь регресії, які отримали методом запланованого експерименту. Всі вимірювання проводили за стандартними методиками. Для управління властивостями сумішей розроблено номограму, яка описує залежності між параметрами та властивостями формувальних сумішей.

Ключові слова

моделювання, оптимізація, стабілізація, холоднотвердіюча суміш, олігофурфурилоксисилоксан, катализатор, міцність, живучість

The aim of the researches is the optimization of the compositions of cold hardening mixtures based on oligofurfuriloxysiloxane (OFOS). Modeling of properties of mixes made by means of the equations of regress received by a method of planned experiment. All measurements were spent by standard techniques. The nomogram describing dependences between parameters of technology and properties of forming mixes is developed for management of properties of mixes.

Поступила 13.01.11

УДК 621.74.04

С. И. Репях

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Коробление выплавляемых моделей отливок

Приведены описание механизма коробления выплавляемых моделей отливок балочного типа несимметричного таврового сечения и новый метод расчета величины их коробления. Установлено, что величина коробления выплавляемых моделей отливок снижается с повышением давления запрессовки модельного состава в пресс-форму, уменьшением коэффициента термического линейного расширения применяемого модельного состава, сокращением длины выплавляемых моделей и зависит от соотношения ширины и толщины их стенок.

Ключевые слова: коробление, модельный состав, отливка, модель, температура, давление

Качество выплавляемых моделей отливок (ВМ), используемых в литье по выплавляемым моделям, во многом предопределяет качество самих отливок. В настоящее время известные экспериментальные данные о короблении ВМ носят фрагментарный характер, а расчеты по определению величин коробления ВМ и теоретические исследования механизма коробления ВМ отсутствуют, что не позволяет разработать однозначные и эффективные мероприятия, направленные на повышение точности формы ВМ и, соответственно, отливок.

Задача исследований – определить параметры формирования ВМ, ответственные за ее коробление, и оценить их влияние на величину коробления ВМ.

Для проведения теоретических исследований в качестве объекта исследования приняли ВМ балочного типа несимметричного таврового сечения. Схема сечения исследуемой ВМ представлена на рис. 1, а; обозначения плоскостей, продольно секущих тело ВМ, – на рис. 1, б, в.

Величину коробления ($-\Delta_k$) ВМ, представленную на рис. 1, в, рассчитывают при следующих допущениях: ВМ затвердевает и охлаждается в неподатливой пресс-форме до комнатной температуры; во

время нахождения в пресс-форме затвердевание и охлаждение полки и ребра ВМ проходят независимо друг от друга как в силовом, так и тепловом отношении до момента перехода модельного состава в ребре ВМ из пластического состояния в упругое (переход происходит при постоянной температуре $t_{\text{пв}}$); величина линейной усадки ребра ВМ предопределяется только ее торможением со стороны стенок пресс-формы во время охлаждения; величина линейной усадки полки ВМ – только ее торможением при усадке со стороны ребра; коробление ВМ, извлеченной из пресс-формы, возникает в результате различия величин линейных усадок сопрягающихся (полки и ребра) элементов ВМ; изогнутая (коробленая) ВМ имеет дугообразный вид с условным геометрическим центром дуги в точке О.

Исходя из принятых условий формирования ВМ, а также в соответствии с рис. 1, в, можно записать

$$DD' > AA' > EE' > BB' > CC',$$

$$AA' = 0,5(DD' + EE'); BB' = 0,5(EE' + CC'),$$

где DD' , AA' , EE' , BB' , CC' – длины дуг DD' , AA' , EE' , BB' и CC' соответственно.