

ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФОРМООБРАЗОВАНИИ ДЛЯ ТОЧНОГО ЛИТЬЯ*

О.В. Ивочкина, О.К. Сибагатуллина

В настоящее время при изготовлении точных отливок из цветных сплавов широкое распространение нашли смеси на гипсовом связующем. Однако, их применение в крупногабаритном литье в объемные формы по выплавляемым моделям (ЛВМ) сдерживается недостаточными прочностными характеристиками получаемых форм. Достичь необходимой прочности форм можно, если увеличить содержание гипса в смеси или использовать гипсовое связующее высоких марок.

Увеличение содержания в смеси гипса более 30 % нежелательно, поскольку при прокаливании и заливке форм наблюдается его разложение и

* Научная статья выполнена в рамках реализации АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)».

выделение газов, что вызывает брак отливок. Достаточную прочность форм обеспечивает использование высокопрочного гипса марок Г19...Г25 (ГОСТ 125–79). Однако в России централизованно производится гипс только низких марок: Г7...Г10 (г. Пермь, г. Пешелань) и Г10...Г16 (г. Самара).

Для увеличения прочностных характеристик форм, полученных с использованием доступных марок связующего, исследовали процесс активации гипса в электрическом поле высокой напряженности. При этом исходили из положения о том, что прочность получаемого при отверждении форм гипсового камня ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) зависит от прочности связей в его кристаллогидратной структуре, которая во многом определяется энергией взаимодействия между частицами кристаллогидратов [1]. Таким образом, увеличение прочности связей в кристаллогидратной структуре связующего форм можно добиться зарядкой находящихся в псевдооживленном состоянии частиц гипса в электрическом поле. Проведенные эксперименты показали, что прочностные характеристики гипса марки Г16 после электронно-ионной активации соответствуют маркам Г19...Г22.

Установленные закономерности были положены в основу электронно-ионной технологии (ЭИТ) изготовления крупногабаритных форм на гипсовом связующем. Широкое применение ЭИТ в литейном производстве сдерживается недостаточной изученностью явлений, протекающих при воздействии мощных электрических полей на дисперсные литейные системы. В связи с этим было исследовано их влияние на свойства смесей не только при обработке связующего, но и непосредственно при электронно-ионной подготовке «сухой» составляющей формовочной смеси.

Установка была выполнена в виде вертикального трубопровода, помещенного между дозатором гипса и смесителем, и состояла из распылительной и зарядочной камер. При этом система «дисперсные частицы в электрическом поле» представляла собой конденсатор с открытым для доступа частиц воздушным диэлектриком, обкладки которого подключены к источнику высокого напряжения.

В исследованиях использовалась наиболее перспективная формовочная смесь, состоящая из связующего – порошка высокопрочного гипса, кварцевого наполнителя и водного раствора металлофосфатного затворителя.

Для отработки параметров электронно-ионной технологии производили подготовку формовочной смеси в следующих условиях:

– Смешивание гипсового связующего с кварцевым наполнителем, обработка полученной смеси в электрическом поле напряжённостью 1000 В/м, затворение её металлофосфатным раствором (вариант 1, см. таблицу).

– Обработка гипсового связующего в электрическом поле напряжённостью 1000 В/м, смешивание его с кварцевым наполнителем, затворение смеси металлофосфатным раствором (вариант 2, см. таблицу).

Результаты исследований приведены в таблице. Текучесть оценивали, используя методику Суттарда, по диаметру растекания суспензии при под-

нятии стандартной гильзы с гипсовой смесью, с момента затворения которой прошло 480 с. Продолжительность схватывания гипсовой суспензии фиксировали с помощью иглы Вика. Прочность форм при изгибе определяли для образцов длиной 40, шириной 20 и толщиной 5 мм.

Влияние электронно-ионной технологии на свойства смеси и форм

Показатели	Смесь, без обработки	ЭИТ подготовки смеси по вариантам	
		1	2
1. Текучесть смеси, мм	150	145	140
2. Продолжительность схватывания смеси, $\frac{\text{начало}}{\text{конец}}$, мин	$\frac{22}{24}$	$\frac{21}{22}$	$\frac{19}{20}$
3. Прочность форм при изгибе, МПа:			
– после сушки на воздухе в течение 1 ч;	1,0	1,2	1,8
– после сушки на воздухе в течение 2 ч;	1,4	1,5	2,2
– после сушки на воздухе в течение 24 ч;	2,7	2,9	4,2
– после прокалки при 800 °С в течение 4 ч (в горячем состоянии)	3,0	3,2	4,4

Анализ приведённых данных показывает, что электронно-ионная обработка формовочных материалов незначительно влияет на реологические свойства смеси (текучесть, продолжительность схватывания), но повышает прочность смеси на гипсовом связующем. При этом наблюдается увеличение скорости нарастания прочности, что позволяет сократить время выдержки форм до дальнейшего манипулирования и повысить производительность процесса.

Прочность форм зависит от прочности связей в кристаллогидратной структуре гипсового камня, которая во многом определяется энергией взаимодействия между частицами кристаллогидратов. Таким образом, увеличение прочности связей в кристаллогидратной структуре связующего форм можно добиться зарядкой частиц гипса в электрическом поле. В процессе электронно-ионного воздействия на газовоздушную смесь образуются ультралокальные поля высокой напряжённости. В результате происходит ионизация молекул газовой среды, которые далее абсорбируются на поверхности частиц диспергированного материала, образуя заряд. Заряженные частицы увеличивают адгезию друг к другу при формовании и, тем самым, повышают прочностные характеристики форм. Из изложенных выше предпосылок следует, что наибольший эффект должен наблюдаться в случае предварительной обработки только гипсового связующего. Это подтверждено и экспериментально (см. таблицу).

На основании установленных закономерностей процесса электрофизической активации формовочных материалов разработана электронно-ионная

технология (ЭИТ) подготовки формовочных смесей, обеспечивающая повышение прочности гипсовых форм [2].

Для расчета необходимой прочности форм в зависимости от параметров электронно-ионной обработки связующего разработана математическая модель, имеющая следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{сж} = b \sqrt{\left(\frac{\sigma_p^r}{0,3}\right)^3}; \\ \sigma_p^r = \frac{q_{ср}^2}{\pi^2 \epsilon_0 \epsilon_1 \left(1,65 \frac{V_B - V_\Gamma}{S} + 2r_{ср}\right)^4}; \\ q_{ср} = 4\pi \epsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) E r_{ср}^2 \left(\frac{\pi K e n_0 \tau}{4\pi \epsilon_0 + \pi K e n_0 \tau}\right); \\ \tau = \frac{2\epsilon_0}{K e n_0 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}}, \end{array} \right.$$

где $\sigma_{сж}$ – прочность смеси при сжатии, Па;

σ_p^r – прочность гипсового связующего при растяжении, Па;

b – коэффициент корреляции для прочности смеси;

$q_{ср}$ – заряд частиц гипса, Кл;

$r_{ср}$ – средний радиус кристаллогидратов, м;

V_B и V_Γ – объемы воды затворения и химически связанной с продуктами гидратации гипса соответственно, м³/кг;

S – удельная поверхность кристаллогидратных образований, м²/кг;

E – напряжённость электрического поля, В/м;

ϵ_1 – относительная диэлектрическая проницаемость жидкой фазы между кристаллогидратами;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость гипсовых частиц;

τ – время зарядки частиц, с;

ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85416 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

K – коэффициент подвижности ионов, $K = 1,8 \cdot 10^{-4}$ м²/В·с;

e – заряд иона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

n_0 – концентрация ионов газа в невозмущённой среде, $n_0 = 3,7 \cdot 10^{14}$ 1/м³.

Данная система уравнений По-сути представляет математическую модель зависимости прочности форм от состава смеси (содержание активированного связующего и концентрация металлофосфатного затворителя) и параметров электронно-ионной обработки гипса.

Опробование разработанной технологии в литье по выплавляемым моделям на крупногабаритных художественных отливках показало улучшение качества поверхности и снижение брака отливок по засорам, просечкам и газовым раковинам на 20...23 %. Учитывая особенности электронно-ионной активации гипсового связующего, рекомендуется использовать ее при изготовлении форм в производстве из цветных сплавов ответственных машиностроительных отливок сложной конфигурации, повышенной массы и габаритов.

Библиографический список

1. Сильные электрические поля в технологических процессах // Электронно-ионная технология: сб. ст. – М.: Энергия, 1979. – Вып. 1–3.
2. Пат. 2155114 Российская Федерация. Смесь для изготовления гипсовых форм и стержней при производстве отливок из цветных и драгоценных сплавов и способ ее приготовления / Л.Г. Знаменский, Б.А. Кулаков, В.С. Жабреев и др. – 2000, Бюл. № 24.