

Т.В. Берлизова, асс., О.И. Пономаренко, д.т.н., проф., Н.А. Качанова, магистрант (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт») г. Харьков, Украина

## Моделирование свойств ХТС на основе хромитового песка и циклокарбонатов

*Приведен оптимизированный состав холоднотвердеющих смесей на жидком стекле на основе хромитового песка с фурфурилоксипропилциклокарбонатами. Исследованы механические свойства смесей – прочность на сжатие, прочность на изгиб, прочность на разрыв.*

**Ключевые слова:** холоднотвердеющая смесь, жидкое стекло, хромитовый песок, фурфурилоксипропилциклокарбонат, триэтанолламин, моделирование.

*Приведено оптимізований склад холоднотвердіючих сумішей на рідкому склі на основі хромітового піску з фурфурілоксипропилциклокарбонатами. Досліджені механічні властивості сумішей – міцність при стискуванні, міцність на вигин, міцність на розрив.*

**Ключові слова:** холоднотвердіюча суміш, рідке скло, хромітовий пісок, фурфурілоксипропилциклокарбонати, триетанолламін, моделювання.

*The article is optimized for the composition cold-water glass mixture based on chromite sand furfuraloxispropilsiklokarbonatami that includes the study of such properties as compressive strength, flexural strength, tensile strength.*

**Keywords:** cold-mix, water glass, chromite sand, furfuraloxispropilsiklokarbonaty, triethanolamine, modeling.

**Введение.** Получение смесей с заданными свойствами является традиционной задачей литейного производства. По существующим данным, 40-60 % дефектов отливок обусловлено неудовлетворительным качеством формовочных материалов и смесей [1, 2]. В последнее время для решения задачи управления свойствами формовочных смесей и их стабилизации 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.

**Анализ последних исследований.** Разработка новых упрочняющих добавок для ХТС на жидком стекле, которые улучшали бы выбиваемость форм и стержней и упрощали технологический процесс является актуальной задачей литейного производства. В НТУ «ХПИ» была получена

новая добавка – фурфурилоксипропилциклокарбонаты (ФОПЦК) на основе сырья растительного происхождения [5 - 7]. ФОПЦК – материал, который обладает двойным действием, отверждает смесь при приготовлении и разупрочняет после заливки металлом при выбивке. ФОПЦК экологически безопасен, так как при заливке металла в форму в результате термохимической деструкции он разлагается и выделяет в объеме сформированной композиции  $\text{CO}_2$  и пары воды в окружающую среду.

В настоящее время для нужд турбомашиностроения начали широко применять высокоогнеупорные и химически инертные хромитовые пески марки AFS45-50 ТУ У 13.2-35202765-001:2011. Минимальное содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  составляет 46%. Хромитовый песок используется при изготовлении стальных отливок в стержневых и облицовочных смесях. Особое преимущество проявляется при изготовлении тяжелых отливок, когда необходимо высокое

сопротивление ферростатичному давлению. В отличие от кварцевого песка, который имеет структурные превращения при  $575^\circ\text{C}$ , хромитовый песок не имеет аллотропических превращений, обладает высокой прочностью при термическом ударе. При относительно высокой температуре плавления  $1880^\circ\text{C}$  он имеет низкую температуру спекания  $1100^\circ\text{C}$ . Зона конденсации влаги в сырой форме на основе хромита образуется на значительно большей глубине, чем в смесях на кварцевом песке. Хромит инертен к оксидам железа при высоких температурах в любой газовой атмосфере, плохо смачивается жидким металлом. Все эти факторы при изготовлении крупных стальных отливок способствуют предотвращению образования химического и механического пригара, улучшают условия кристаллизации металла. Благодаря высокой теплопроводности и теплоаккумулирующей способности хромита можно осуществлять направленность затвердевания от-

ливки и предотвращать неравномерности кристаллизации.

Отверждение композиции (хромитовый песок-ФОПЦК-жидкое стекло) происходит при взаимодействии ФОПЦК с жидким стеклом. Любые циклокарбонаты (пропиленциклокарбонат, ФОПЦК и др.) в щелочной среде неустойчивы и распадаются с выделением  $\text{CO}_2$ , который при реакции с жидким стеклом образует полисиликаты в объеме сформированной композиции. Такие системы можно отнести к наноструктурируемым композиционным материалам, т. к. процессы взаимодействия между ФОПЦК и ЖС проходят на поверхности хромитового песка в мономолекулярных слоях.

**Целью исследований** является определение закономерности взаимодействия нового связующего на основе жидкого стекла с фурфурилоксипропилциклокарбонатом (ФОПЦК) и хромитовым песком в литейном производстве.

**Методика исследований.** В работе использовались стандартные методики исследования физико-механических свойств смесей: измерение прочности смеси в соответствии с ГОСТ 23409.7 – 78

(прочность смеси на сжатие, разрыв и изгиб).

**Результаты исследований.**

В работах [5-7] уже были исследованы на прочность и выбиваемость смеси с ФОПЦК на основе кварцевого песка. В работах было установлено оптимальное количество ФОПЦК и добавки триэтанола (ТЭА) в смеси с кварцевым песком. Однако смеси с ФОПЦК на хромитовом наполнителе еще не исследовались.

Для установления закономерностей взаимодействия связующего на основе жидкого стекла с фурфурилоксипропилциклокарбонатом (ФОПЦК), триэтаноламином и хромитовым песком был проведен активный планируемый эксперимент.

Смесь готовили следующим образом: сначала в хромитовый песок добавляли отвердитель и перемешивали в течение 3 минут, затем добавляли жидкое стекло с триэтаноламином и перемешивали еще 2 минуты. Триэтаноламин вводили в жидкое стекло. ТЭА брали от общей массы ФОПЦК. Смесь заформовывали в 9-местную пресс форму, которая используется для исследования свойств ХТС. Отвердитель добавляли в количестве 0,4...0,6 мас. ч, жидкое стекло – 4,5...5,5

мас. ч, а ТЭА – 2...10 мас. ч. от массы ФОПЦК.

Матрица планирования эксперимента приведена в таблице .

Варьируемыми факторами являлись: количество жидкого стекла ( $x_1$ ), количество ФОПЦК ( $x_2$ ) и триэтаноламина ( $x_3$ ). В качестве параметра оптимизации ( $y$ ) были выбраны основные физико-механические показатели свойств формовочных смесей: прочность на изгиб через три часа ( $y_1$ ), прочность на разрыв ( $y_2$ ) и прочность на сжатие ( $y_3$ ).

В результате обработки полученных данных была получена следующая система уравнений в кодированном масштабе:

$$y_1 = 6,06 + 0,44x_1 + 0,31x_2 + 0,38x_3$$

$$y_2 = 0,42 + 0,01x_1 + 0,02x_2 + 0,02x_3 + 0,01x_{13} + 0,01x_{23}$$

$$y_3 = 1,15 + 0,02x_1 + 0,09x_2 + 0,09x_3 - 0,035x_{12} + 0,03x_{13} + 0,02x_{23}$$

Проверка полученных математических моделей на значимость и адекватность проводилась с помощью критерия Стьюдента и критерия Фишера.

Таблица . Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Количество ЖС ( $x_1$ )	Количество ФОПЦК ( $x_2$ )	Количество триэтаноламина ( $x_3$ )	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	Прочность на изгиб, МПа ( $y_1$ )	Прочность на разрыв, МПа ( $y_2$ )	Прочность на сжатие, МПа ( $y_3$ )
1	5,5	0,6	10	+	+	+	+	+	+	+	7,5	0,5	1,4
2	4,5	0,6	10	+	-	+	+	-	-	+	6,25	0,45	1,3
3	5,5	0,4	10	+	+	-	+	-	+	-	6,5	0,43	1,18
4	4,5	0,4	10	+	-	-	+	+	-	-	5,5	0,4	1,08
5	5,5	0,6	2	+	+	+	-	+	-	-	6	0,4	1,05
6	4,5	0,6	2	+	-	+	-	-	+	-	5,75	0,43	1,2
7	5,5	0,4	2	+	+	-	-	-	-	+	6	0,4	1,05
8	4,5	0,4	2	+	-	-	-	+	+	+	5	0,38	0,93

Влияние количества ЖС с ТЭА и ФОПЦК на прочность смеси на изгиб представлена на рис. 1.

На рис. 2 показано влияние ЖС и ФОПЦК на прочность смеси на разрыв, а на рис. 3 – на прочность смеси на сжатие.

На основе анализа установлено, что прочность на изгиб, разрыв и сжатие повышается с увеличением количества ЖС и ФОПЦК. На основании уравнений была построена номограмма для определения оптимального состава смеси на основе ЖС с ТЭА и ФОПЦК на хромитовом песке. Для ее построения в полученные уравнения регрессии для прочности на изгиб, разрыв и сжатие подставляли значения факторов в кодированном масштабе, которые рассчитывали в натуральном масштабе по формулам:

$$x_1 = \frac{x_1 - 5}{0,5};$$

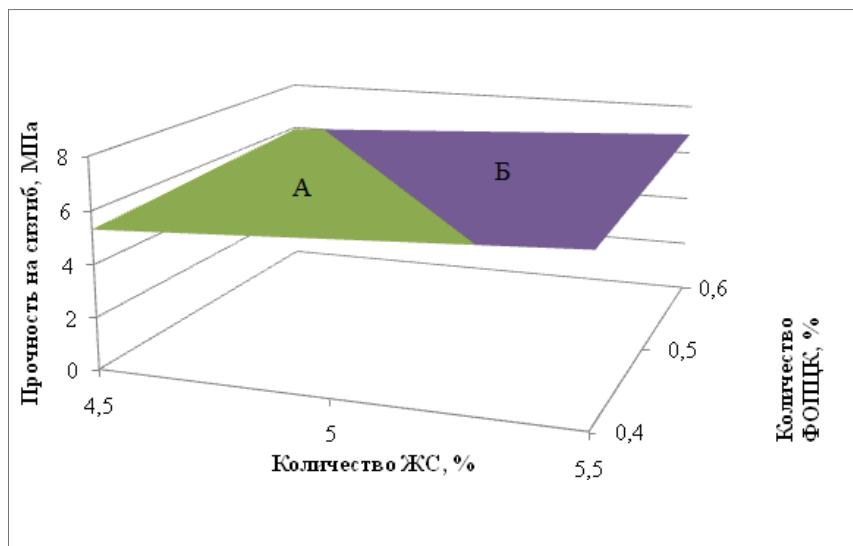
$$x_2 = \frac{x_2 - 0,5}{0,1};$$

$$x_3 = \frac{x_3 - 6}{4},$$

где  $x_1$  – количество жидкого стекла;  $x_{2i}$  – количество фурфуролил-сипропилциклокарбоната;  $x_{3i}$  – количество триэтанолamina.

Номограмма для определения оптимального состава смеси на основе ЖС с ТЭА и ФОПЦК представлена на рис. 4. При построении номограммы количество ТЭА и ФОПЦК являлись фиксированными величинами. ТЭА брали в количестве 6 мас. ч. от ФОПЦК, а количество ФОПЦК составляло от 0,3 до 1,1 %.

При построении номограммы считали, что прочность смеси на изгиб находится в пределах от 5 до 6 МПа, прочность на разрыв более 0,4 МПа, прочность на сжатие не менее 1,12 МПа, т.к. такие показатели удовлетворяют требованиям производства для смесей на ЖС. Была получена оптимальная область значений – четырехугольник АБСД, каждая точка которого удовлетворяет требованиям технологического процесса при готов-



**Рис. 1. Влияние кол-ва ЖС с 6 мас. ч. ТЭА и ФОПЦК на прочность смеси на изгиб:** А – область показаний прочности на изгиб от 4,00 до 6,00 МПа; Б – область показаний прочности на изгиб от 6,00 до 8,00 МПа

ления смеси. Стрелками показано направление в сторону увеличения прочности смеси на разрыв и сжатие и в сторону уменьшения прочности смеси на изгиб.

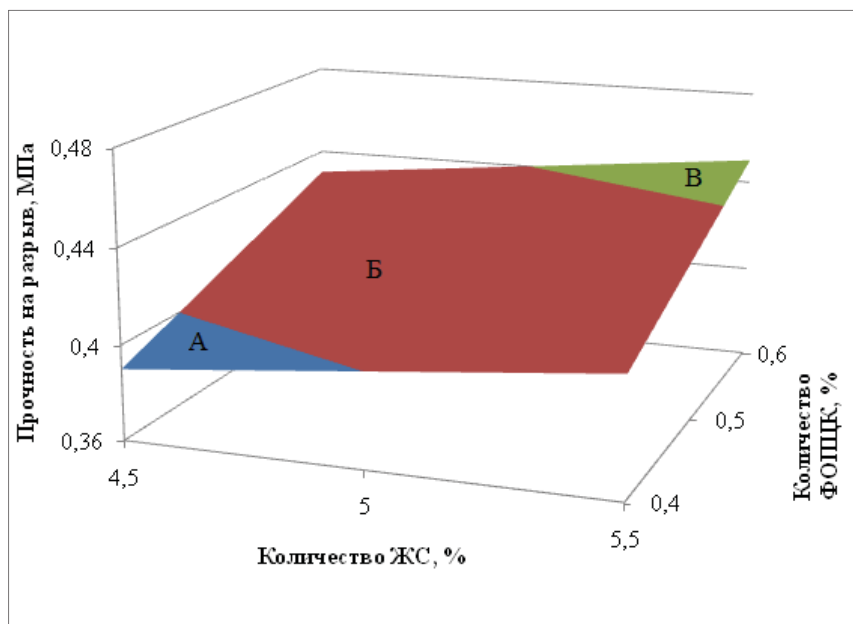
Использование номограммы позволяет:

1) стабилизировать свойства ХТС в промышленных условиях и дает возможность для заданной прочности на сжатие, изгиб

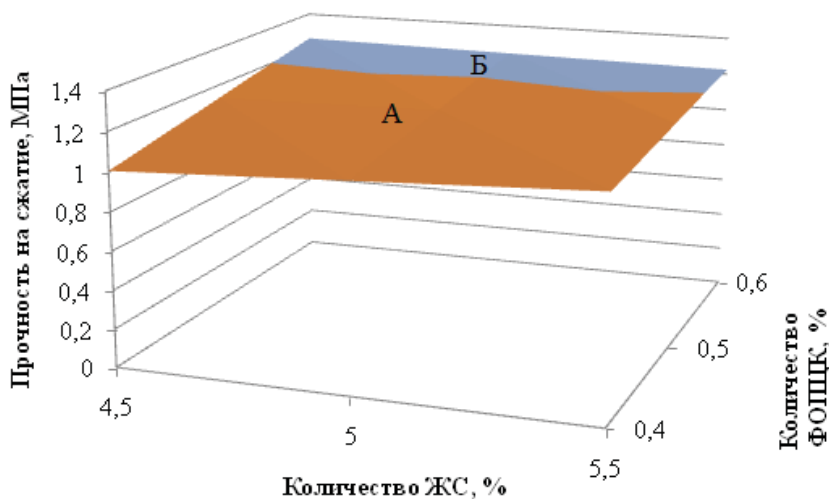
и определить необходимый состав смеси;

2) корректировать параметры процесса приготовления смеси за счет изменения количества составляющих смеси.

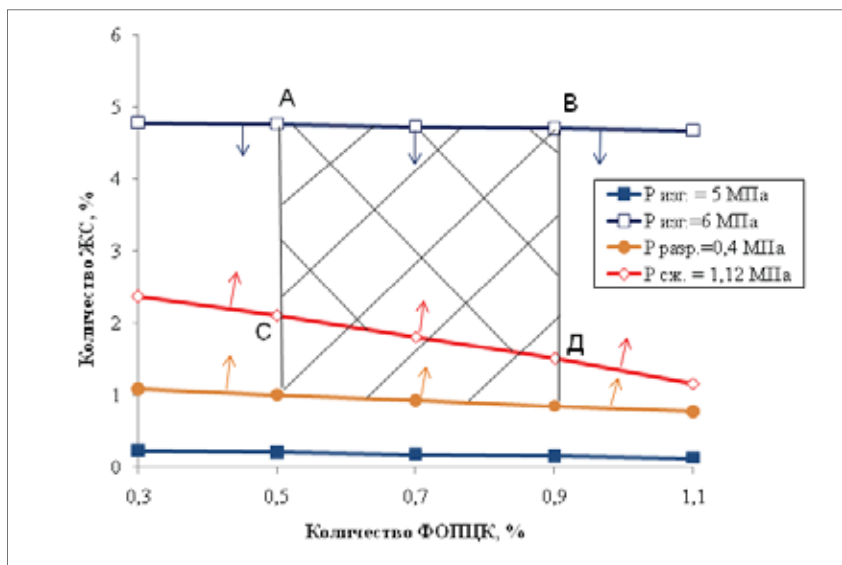
Анализ данных проведенного эксперимента показал, что значения прочности на сжатие смеси на хромитовом песке имеют более высокие показатели по сравне-



**Рис. 2. Влияние кол-ва ЖС с 6 мас. ч. ТЭА и ФОПЦК на прочность смеси на разрыв:** А – область показаний прочности на изгиб от 0,44 до 0,48 МПа; Б – область показаний прочности на изгиб от 0,4 до 0,44 МПа; В – область показаний прочности на изгиб от 0,36 до 0,4 МПа



**Рис. 3. Влияние кол-ва ЖС с 6 мас. ч. ТЭА и ФОПЦ на прочность смеси на сжатие:** А – область показаний прочности на изгиб от 1,00 до 1,12 МПа; Б – область показаний прочности на изгиб от 1,20 до 1,40 МПа



**Рис. 4. Номограмма для определения оптимального состава смеси на основе ЖС с 6 мас. ч ТЭА и ФОПЦ**

нию с кварцевыми песками. Так, для кварцевого песка прочность на сжатие для смеси с содержанием ЖС 4,0%, ФОПЦ 0,5% и ТЭА 6% составляет 1,074 МПа, а для хромитового песка прочность на сжатие для смеси с тем же содержанием компонентов составляет 1,127 МПа.

**Выводы:**

1. Установлены закономерности взаимодействия связующего

на основе жидкого стекла с фурфурилоксипропилциклокарбонатом (ФОПЦ), триэтанолмином и хромитовым песком. Разработаны математические модели свойств смесей на хромитовых песках.

2. Определено оптимальное содержание ФОПЦ и триэтанолмина в смеси на основе хромитового песка.

3. Использование номограммы позволяет стабилизировать свой-

ства ХТС в условиях литейного цеха и дает возможность для заданной прочности на изгиб, разрыв и сжатие определить необходимый состав смеси.

4. Исследования показали возможность использования в литейном производстве для ХТС смеси на ЖС с ФОПЦ на хромитовых песках.

**Список литературы:**

1. Голофаев А.Н., Технология литейной формы / А.Н. Голофаев, В.И. Лагута, Г.В. Хинчаков. – Луганск: Издательство ВНУ, 2001. – 264 с.
2. Кукуй, Д.М. Теория и технология литейного производства / Д.М. Кукуй, В.А. Скворцов, В.К. Эктова. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 416 с.
3. Гуляев, Б. В. Планирование эксперимента при разработке составов формовочных смесей / Б.В. Гуляев // Специальные способы литья. – Л.: Машиностроение, 1974. – С. 58-67.
4. Пономаренко О.И. Оптимизация технологических решений для цехов литейного производства: Монография / О.И. Пономаренко. – Харьков: НТУ «ХПИ», – 2007. – 320 с.
5. Берлизова, Т.В. Влияние фурфурилоксипропилциклокарбонатов (ФОПЦ) с различными добавками на свойства ХТС на жидком стекле / Т.В. Берлизова, О.И. Пономаренко, А.М. Каратеев, Д.А. Литвинов // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2013. – №3.– С. 26-29.
6. Берлизова Т.В. Использование холоднотвердеющих смесей на жидком стекле с применением циклокарбонатов / Т.В. Берлизова // Вестник НТУ «ХПИ». № 42 (1015). – 2013. – С. 21-26.
7. Берлизова Т.В. Моделирование и оптимизация свойств холоднотвердеющих смесей на основе жидкого стекла и фурфурилоксипропилциклокарбонатов / Т.В. Берлизова, О.И. Пономаренко // Литейное производство, 2014. – № 4.– С. 21-23.