



УДК 621.744

Поступила 11.05.2016

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ОЛИГОФУРФУРИЛОКСИСИЛАКСАНОВЫХ СВЯЗУЮЩИХ

TECHNOLOGICAL PROCESS OF OBTAINING COLD HARDENING MIXTURES (CHM) ON THE BASIS OF OLIGOFURFURILOKSISILAKSANOV BINDINGS

О. И. ПОНОМАРЕНКО, Н. С. ЕВТУШЕНКО, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, ул. Фрунзе, 21. E-mail: litvo21@kpi.kharkov.ua

O. I. PONOMARENKO, N. S. EVTUSHENKO, National Technical University «Kharkiv Polytechnical Institute», Kharkiv, Ukraine, 21, Frunze str. E-mail: litvo21@kpi.kharkov.ua

В статье приведены исследования по использованию экологически чистых смол на основе олигофурфурилоксисилаксановых связующих с кислотными катализаторами для холоднотвердеющих смесей, применение которых позволит получать качественные отливки в литейных цехах заводов. Исследование проводилось по стандартным методикам проверки на прочность, живучесть, газопроницаемость, осыпаемость, прилипаемость, выбиваемость и пригар. Разработаны математические модели свойств смеси и произведена оптимизация состава смеси. Проведены исследования изменения свойств смесей на отработанных песках.

The research of environmentally friendly pitches based on the oligo-furfuriloksisilaksanovykh bindings with acid catalysts for the cold hardening mixtures to receive high-quality castings in foundry shops of plants is given in the article. Research was conducted by standard techniques on durability, survivability, permeability to gases, friability, adherence, peeling and metal penetration. Mathematical models of properties of mixture are developed and optimization of composition of mixture is made. Researches of change of properties of mixtures of the waste sand are conducted.

Ключевые слова. Физико-механические и технологические свойства, холоднотвердеющая смесь, олигофурфурилоксисилаксаны, катализатор, математические модели, оптимизация.

Keywords. Physical-mechanical and technological properties, cold-hardening mixture, oligofurfuriloksisilaksany, catalyst, mathematical models, optimization.

Повышение сложности, точности и снижение тонкостенности литых деталей наряду с требованиями минимизации трудовых затрат и эффективной защиты окружающей среды значительно влияют на развитие технологий производства отливок. Возрастающие требования к качеству отливок в современном мире, эффективности их изготовления и экологическим аспектам приводят к тому, что требования к свойствам формовочных и стержневых смесей, особенно в последние годы, непрерывно повышаются [1, 2].

Для того чтобы получить отливку, свободную от дефектов, формовочные и стержневые смеси, из которых изготавливают форму и стержни, должны удовлетворять комплексу определенных свойств [3]. Основной объем получаемых отливок (более 70%) изготавливают в разовых формах, свойства которых определяют качество отливок [4]. Однако, по имеющимся данным, 40–60% дефектов отливок обусловлено неудовлетворительным качеством формовочных материалов и смесей [5].

На сегодняшний день в литейном производстве все большее внимание уделяется холоднотвердеющим смесям (ХТС) с синтетическими смолами. В настоящее время холоднотвердеющие смеси стали основными в изготовлении стержней и форм в единичном и серийных производствах в промышленно развитых странах. Объем использования синтетических смол в литейном производстве весьма велик. Это объясняется высокой прочностью смеси при небольшом расходе смолы, возможностью регулирования скорости отверждения смеси в большом диапазоне, отсутствием операции сушки и необходимости в сушильном оборудовании, легкой выбиваемостью смесей из внутренних полостей отливок и отливок

из форм, низкой энергоемкостью процесса, благодаря чему существенно упрощается и сокращается цикл изготовления отливки [6].

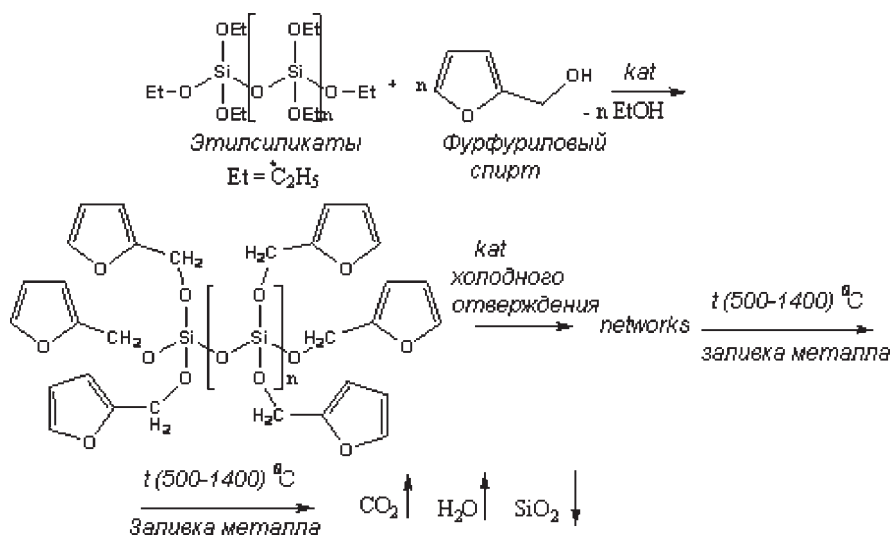
Однако остается одна проблема – это отрицательное влияние продуктов термодеструкции синтетических смол на безопасность жизнедеятельности человека и на окружающую среду. По экспертным данным, эти технологии дают до 40% загрязнений окружающей среды [7, 8]. Значительная часть продуктов деструкции остается в отработанных смесях. Отказаться сегодня от ХТС на смоляных связующих в литейном производстве практически невозможно. Поэтому создание и применение экологически чистых связующих и составов холоднотвердеющих смесей для литейных форм и стержней с сохранением показателей их основных физико-механических и технологических свойств, разработка технологии их приготовления, а также получение качественных отливок из чугуна, стали и цветных металлов на их основе является актуальной задачей литейного производства.

При разработке связующего на смолах авторы учитывали основные требования, предъявляемые к таким материалам. Это высокая скорость отверждения; отсутствие газовыделений и запаха, отравляющих веществ, таких, как фенол, формальдегид, крезол; небольшой расход материалов; достаточная живучесть смеси; легкое извлечение стержня из стержневого ящика; высокая начальная и окончательная его прочность; высокая термостойкость смеси при заливке металла и легкая выбиваемость ее из отливок. Таким требованиям полностью удовлетворяет связующее на основе олигофурфурилоксисилаксанов (смола ОФОС) [9]. Его основной особенностью является отсутствие в составе отравляющих веществ, благодаря чему оно признано экологически чистым.

Для исследования основных физико-механических и технологических свойств холоднотвердеющих смесей на основе ОФОС в качестве наполнителя использовали обогащенные кварцевые пески с содержанием глинистой составляющей не более 0,5%, с низкой долей пылевидной фракции и предельной влажностью не выше 0,1%. Контроль свойств исходных материалов, стержневой и формовочной смесей осуществляли по стандартным методикам: измерение прочности смеси на сжатие и разрыв, а также остаточной прочности смеси после термического воздействия в соответствии с ГОСТ 23409.7-78 и 23402.9-78; определение газотворной способности – по ГОСТ 23409.12-78, газопроницаемости – по ГОСТ 29234.11-91, осыпаемости смеси – по ГОСТ 23409.9-78, определение гигроскопичности смеси производили согласно ГОСТ 23409.10-78.

При приготовлении смеси использовали кварцевый песок 2К₁О₃02 ГОСТ 29234.0-91. Сначала в смесь вводили катализатор. В качестве катализаторов были использованы бензолсульфокислота (БСК), паратолуолсульфокислота (ПТСК) и сульфосалициловая кислота (ССК). Смесь тщательно перемешивали на протяжении 60 с, затем добавляли связующее ОФОС и снова тщательно перемешивали на протяжении 120 с. Связующее использовали различных модификаций с содержанием от 4 до 6 молей фурфурилокси-групп.

Процессы, происходящие в смесях, можно структурно описать следующим образом:



Смесь полимеризуется по ион-радикальному механизму при раскрытии двойных связей в фурановых циклах при обычных температурах в помещении. При этом композиционная смесь за счет теплоты полимеризации двойных связей разогревается до температуры 60–70 °С и образует сетчатую структуру

в условиях холодной формовки форм и стержней. При взаимодействии компонентов со связующим ОФОС не образуется свободного фурфуроливого спирта, как, например, при использовании фурановых смол.

При заливке расплавленных металлов в формы происходит процесс термической деструкции сетчатой структуры полимерного композиционного связующего. В результате термической деструкции в атмосферу выделяются CO_2 и пары H_2O и образуется твердый неорганический остаток SiO_2 , который можно использовать повторно.

Для исследования прочности смесей на сжатие изготавливали стандартные образцы. Для этого использовали девятиместную пресс-форму, в которой образцы выдерживали некоторое время, а затем извлекали и подвергали испытанию через определенное время. Показатели прочности по технологической пробе на сжатие у смеси на основе ОФОС в зависимости от степени полимеризации смолы, используемого катализатора и его концентрации, в среднем составляют: через 1 ч – 1,3–1,54 МПа; через 3 ч – 2,5–2,9; через 24 ч – 4,9–6,1 МПа, что соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к ХТС со смолами [10, 11].

По полученным данным определено, что живучесть смесей на основе связующего ОФОС в присутствии всех катализаторов находится в пределах 4–17 мин. Время отверждения композиции зависит от концентрации катализатора, количества и его химической природы, а также от количества молей фурфуролокси-групп в связующем ОФОС. При этом увеличение концентрации катализатора приводит к уменьшению живучести. Ею можно управлять, изменяя меру полимеризации n смолы и концентрацию катализаторов. Газотворная способность смеси в среднем составляет 10,5–11,8 $\text{см}^3/\text{г}$, осыпаемость смеси находится в пределах 0,1–0,36%, газопроницаемость > 200 ед., а прилипаемость смеси к стержневому ящику и пригар минимальны. Влажность смесей зависит от концентрации катализатора: при увеличении концентрации катализатора влажность смеси снижается.

Исследованиями установлено, что увеличение степени полимеризации смолы приводит к увеличению прочности смеси независимо от типа катализатора. Анализ данных показывает, что прочность образцов, испытания которых проводили сразу после извлечения из формы и по окончании некоторого времени (до 180 мин), увеличивается с уменьшением концентрации катализатора, т. е. прочность образцов с катализатором с содержанием кислоты 50% выше, чем с содержанием кислоты 70%. Это обусловлено большей активностью ионов водорода. Необходимо обратить внимание, что образцы с 50%-ным катализатором ПТСК в данном промежутке времени имеют большую прочность, чем образцы с 50%-ным катализатором БСК. Первоначальная прочность образцов с катализатором ССК нарастает медленнее, чем у образцов с катализаторами БСК и ПТСК, но через 24 ч она значительно выше. И стоимость катализатора ССК ниже, чем других катализаторов.

Технология изготовления форм и стержней с использованием таких ХТС обеспечивает экологичность технологического процесса в результате отсутствия выделения отравляющих и токсичных веществ как в «холодной» стадии процесса, так и при заливке расплавленным металлом, охлаждении, выбивке и утилизации формовочных смесей. При этом полностью отсутствует операция выбивки стержней из отливок и отливок из форм и, тем самым, обуславливает снижение общей себестоимости всего технологического процесса получения отливок.

В работе было исследовано поведение ХТС на основе ОФОС в процессе термодеструкции [12]. Установлено, что пиролизные процессы проходят в трех температурных диапазонах: до 250 °С, с 250 до 600 °С, с 600 °С и выше. Общая потеря массы в обоих образцах составляет от 2,5 до 3,5%. Наиболее интенсивно потеря массы наблюдается в интервале температур 370–570 °С, что связано с термическим разложением смолы, сопровождающимся разрушением метиленовых и силановых связей, выделением газообразных продуктов термодеструкции и образованием сажистого осадка и двуоксида кремния. Проведенный анализ процессов деструкции позволяет утверждать, что смолу ОФОС можно отнести к категории смол, обладающих хорошей связующей способностью и термостойкостью и ее целесообразно использовать в качестве связующего для ХТС при изготовлении форм и стержней.

Для оптимизации свойств смеси на основе ОФОС был проведен активный планируемый эксперимент. В качестве параметров оптимизации (y) были выбраны основные физико-механические показатели свойств формовочной смеси: прочность на сжатие y_1 и живучесть y_2 . Изучали смеси с различным процентным содержанием смолы и катализатора. Варьируемыми факторами были выбраны: количество вводимой в смесь смолы (x_3), количество (x_1) и концентрация (x_2) используемого катализатора. В качестве катализатора использовали паратолуолсульфокислоту (ПТСК) [13]. Интервалы варьирования факторов и их значения на основном, верхнем и нижнем уровнях приведены в таблице.

Условия проведения экспериментов для ХТС на основе ОФОС

Факторы	Количество кислоты, %	Концентрация кислоты, %	Количество смолы, %
Код	x_1	x_2	x_3
Основной уровень	1	60	2
Интервал варьирования	0,5	10	1
Верхний уровень	1,5	70	3
Нижний уровень	0,5	50	1

Матрица планирования эксперимента 2^{6-3} . На основе планируемого эксперимента были получены уравнения регрессии:

$$y_1 = 0,85 + 0,44x_1 - 0,2x_2 + 0,07x_3 + 0,12x_1x_3, \tag{1}$$

$$y_2 = 6,6 - 1,4x_1 - 1,3x_2 + 1,3x_3, \tag{2}$$

которые можно использовать для определения влияния входящих параметров на свойства смеси, а также для оптимизации ее состава. Анализ уравнений регрессии позволяет утверждать, что влияние варьируемых факторов на параметры оптимизации соответствует теоретическим представлениям о формировании свойств смеси при ее приготовлении.

Прочность смеси повышается с увеличением количества связующего ОФОС и увеличением количества катализатора ПТСК. Живучесть смеси уменьшается с увеличением количества катализатора и уменьшением количества смолы. На параметры процесса смесеобразования также влияют и парные взаимодействия исходных составляющих.

На основе разработанных математических моделей была построена номограмма, которая описывает зависимости между параметрами технологии и свойствами формовочных смесей (рис. 1).

При построении номограммы считали, что для условий производства прочность на сжатие должна находиться в пределах 1,0–1,5 МПа, а живучесть – от 7 до 10 мин. Прямая *AB* представляет собой множество точек, для которых прочность на сжатие равна 1,0 МПа, а для прямой *CD* прочность составляет 1,5 МПа. Живучесть для прямой *AD* – 7 мин, а прямой *BC* – 10 мин. Четырехугольник *ABCD* является множеством точек, удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к качеству песчано-смоляной смеси. Если считать, что использование смолы более 2,0% и катализатора более 1,0% считается нерациональным, то областью оптимальных значений свойств смеси является область, описываемая многоугольником *AMNK*.

Например, точка *T* на номограмме показывает, что при использовании в смеси смолы в количестве 1,5% и катализатора 0,8% смесь будет удовлетворять требованиям производства. Точка *A* показывает,

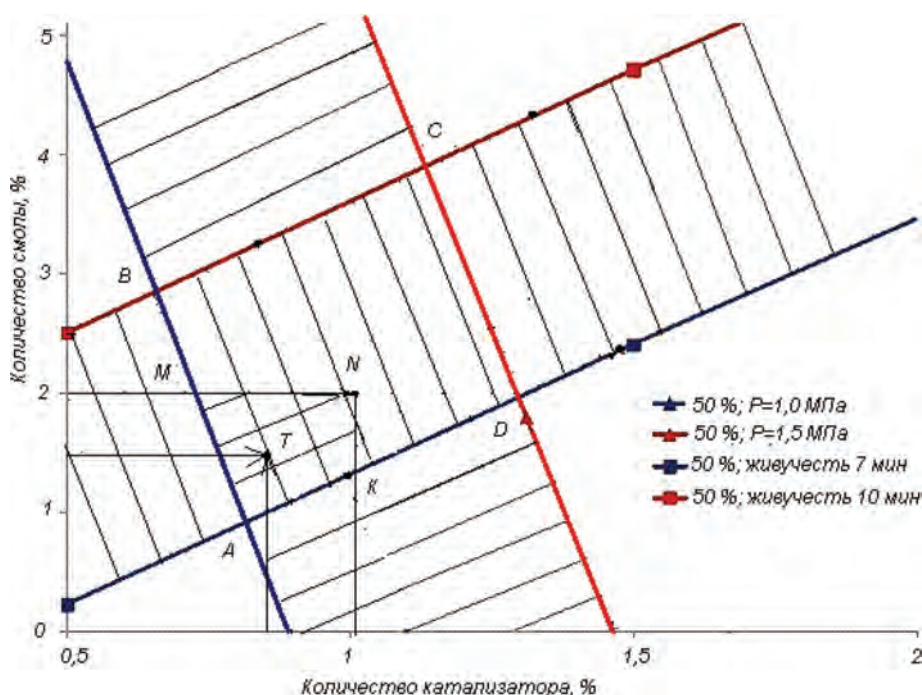


Рис. 1. Номограмма для определения оптимального состава смеси на основе ОФОС при концентрации катализатора 50%

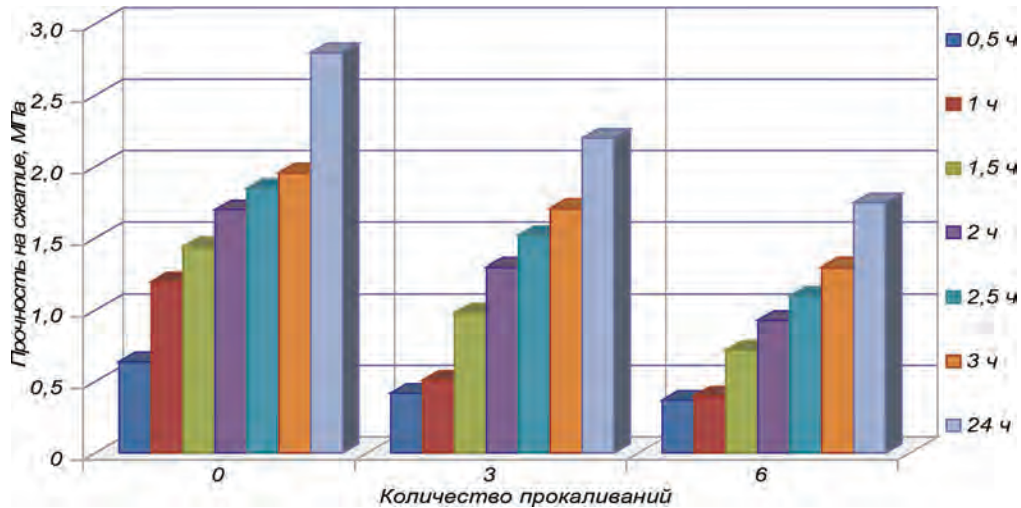


Рис. 2. Прочностные свойства свежей смеси и с использованием отработанной смеси

какое минимальное количество составляющих смеси следует взять, чтобы получить смесь необходимого качества.

На основе данных номограммы возможна корректировка параметров процесса приготовления смеси за счет изменения количества составляющих смеси, что может быть использовано для оперативного управления свойствами смеси.

Разработан технологический процесс приготовления стержневых и формовочных ХТС на основе ОФОС для получения качественных отливок. Состав смеси, который удовлетворяет требования к качеству отливок, определяется областью значений: для смолы ОФОС – от 1,0 до 2,0% и для катализатора ПТСК – от 0,6 до 1,0%.

Одним из эффективных способов снижения стоимости отливок является использование отработанных песков. Было проведено исследование по изучению изменения прочностных свойств отработанной формовочной смеси на смоле ОФОС при многократном ее использовании. Для этого были изготовлены три состава смеси. В первом составе в качестве наполнителя использовали свежий кварцевый песок, во втором – отработанную смесь после трехкратного оборота; в третьем – отработанную смесь после шестикратного оборота. Во всех смесях в качестве катализатора использовали 50%-ную паратолуолсульфокислоту (ПТСК) в количестве 1%. Количество смолы ОФОС – 2%.

На рис. 2 представлена сравнительная оценка прочностных свойств смеси с использованием свежего песка и отработанной смеси.

Из рисунка видно, что прочность смесей на основе отработанной смеси ниже, чем в смесях на основе свежего песка. Падение прочности составляет 0,1–0,2 МПа за один оборот смеси. Повысить прочность таких смесей можно за счет увеличения процентного содержания смолы и катализатора. Однако даже при 6-кратном обороте смеси по показателям прочности дополнительный ввод этих компонентов не требуется.

Также проводили изучение реактивности формовочных смесей на основе свежего песка и с использованием отработанной смеси. Под реактивностью формовочной смеси понимаем способность ее компонентов вступать в реакцию между собой. В частности, это касается взаимодействия смолы с катализатором. Реактивность характеризуется промежутком времени, через который между компонентами смеси начинается взаимодействие. Для исследования смесь готовили аналогичным способом. После каждого оборота приготавливали новую смесь на основе отработанной и определяли ее реактивность.

На рис. 3 дана оценка реактивности формовочной смеси с использованием свежего песка и отработанной смеси.

Из диаграммы видно, что с увеличением количества оборотов отработанной формовочной смеси реактивность ее постепенно снижается, т. е. процесс отверждения образцов с каждым оборотом смеси ускоряется. Это объясняется тем, что в отработанной смеси остается некоторое количество смолы и катализатора и отработанная смесь имеет более высокую скорость взаимодействия компонентов, что позволяет впоследствии уменьшить дозировку составляющих смеси.

Для исследования структуры отработанных песков ХТС на смолах с олигофурфурилоксисилаксановым связующим был проведен следующий эксперимент.

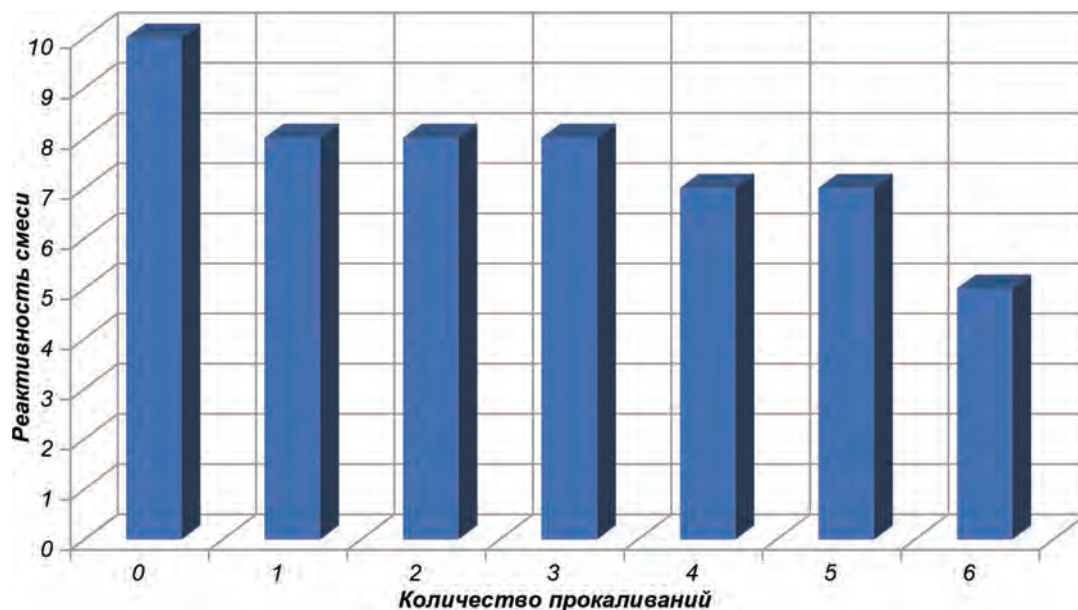


Рис. 3. Реактивность смеси на основе свежего песка и с использованием отработанной смеси

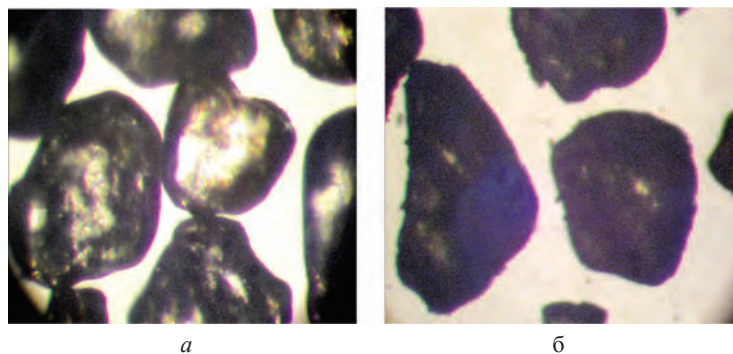


Рис. 4. Изменение зерновой структуры песка: *a* – исходное состояние песка; *б* – после восьмикратного оборота

Для исследования образцы готовили по методике, приведенной ранее. Затем их помещали в муфельную печь и при температуре 800 °С выдерживали в течение 1 ч. По истечении времени образцы рассыпались и из песка снова изготавливали образцы. Этот процесс повторяли восемь раз. Каждый раз изучали структуру зерен песка с помощью электронного микроскопа с увеличением в 112 раз. Со временем наблюдалось появление «бархатной» пыли на зернах песка. На рис. 4 показано изменение зерновой структуры песка в исходном состоянии и после восьмикратного оборота. Можно предположить, что «бархатная» пыль на зернах является коксовой составляющей смолы.

Поэтому для исследования составов отработанных песков был проведен рентгенографический фазовый анализ. Рентгено съемку проводили на аппарате ДРОН-3.0 в медном излучении ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) с монохроматором на дифрагируемом пучке при $U = 30 \text{ кВ}$, $I = 30 \text{ А}$.

Дифрактограммы снимали в угловом интервале $2\theta = 16\text{--}75^\circ$. Установлено, что на дифрактограммах присутствует только кварц. Других элементов в песке не выявлено. Сравнение дифрактограмм показывает, что первая дифрактограмма отличается от восьмой повышенной дисперсностью кварца. Это объясняется тем, что при повторном использовании песков идет процесс истирания зерен.

Выводы

Практическое значение работы заключается в решении важной научной и технической задачи по созданию экологически чистых холоднотвердеющих смесей для литейного производства и получения качественных отливок.

Предложено новое связующее ОФОС для ХТС на основе продуктов переэтерификации этилсиликата-40 (ЭТС-40) и фурфуролового спирта, которое представляет собой экологически чистое связующее и по своим свойствам не уступает зарубежным аналогам. Оценка связующего на экологическую безопасность подтверждена протоколом испытаний и результатами токсикологических исследований.

Определены уровни основных свойств ХТС на основе ОФОС – прочность, живучесть, газотворная способность, газопроницаемость, осыпаемость, огнеупорность и выбиваемость, от которых зависит качество отливок при литье в песчаные формы. Показатели прочности по технологической пробе на сжатие у смеси на основе ОФОС в зависимости от степени полимеризации смолы, используемого катализатора и его концентрации в среднем составляют: через 1 ч – 1,3–1,54 МПа; через 3 ч – 2,5–2,9; через 24 ч – 4,9–6,1 МПа, что соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к ХТС со смолами.

Исследованы основные характеристики смесей на отработанных песках со связующим ОФОС. Подтверждено, что прочность смесей на основе отработанных песков ниже, чем в смесях на свежих песках. Снижение прочности составляет 0,1–0,2 МПа за один оборот смеси, однако даже при 6-кратном ее обороте по показателям прочности дополнительный ввод компонентов не требуется. Также установлено, что с увеличением количества оборотов отработанной формовочной смеси реактивность ее постепенно снижается, т. е. процесс отверждения с каждым оборотом смеси ускоряется.

Рентгенографический фазовый анализ показал, что на дифрактограммах присутствует только кварц, других элементов в песке не выявлено. Установлено, что дисперсность кварца с увеличением количества оборотов смеси возрастает.

На основе исследований установлена возможность использования при приготовлении ХТС до 90–95% регенерированных отработанных смесей на ОФОС, что позволяет снизить затраты на приобретение свежих песков.

Разработаны технологические процессы приготовления стержневых и формовочных ХТС на основе ОФОС с использованием свежих песков и регенерированных отработанных смесей, методики оптимизации их основных параметров и оперативного управления свойствами смеси для получения качественных отливок из железоуглеродистых и цветных сплавов.

Литература

1. **Кукуй Д. М.** Теория и технология литейного производства / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, В. К. Эктова. Минск: Дизайн ПРО, 2000. 416 с.
2. **Болдин А. Н.** 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.
3. Формовочные материалы и смеси / С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин. Киев: Вища шк., 1990. 415 с.
4. **Титов Н. Д.** Технология литейного производства / Н. Д. Титов, Ю. А. Степанов. М.: Машиностроение, 1974. 472 с.
5. **Калашникова А. Я.** Формовочные материалы и смеси для прогрессивных технологических процессов изготовления форм и стержней / А. Я. Калашникова, Г. П. Галкин. М.: НИИМаш, 1976. 59 с.
6. **Мельников А. П.** Современные тенденции развития технологии в литейном производстве / А. П. Мельников, Д. М. Кукуй // *Литье и металлургия*. 2008. № 3(47). С. 65–80.
7. **Пономаренко О. И.** Экология производства ХТС в литейном производстве / О. И. Пономаренко, Н. С. Евтушенко, Т. В. Берлизова // *Материалы III Междунар. науч.-техн. конф. «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве»* (12–14 сентября 2011 г., г. Краматорск). Краматорск: ДГМА, 2011. С. 143–145.
8. **Ткаченко С. С., Кривицкий В. С.** Станкостроение и модернизация литейного производства // *Тр. 8-й Всерос. науч.-практ. конф. «Литейное производство сегодня и завтра»* (23–25 июня 2010 г.). Санкт-Петербург, 2010. С. 3–11.
9. Патент на корисну модель UA № 23593 Україна. Спосіб одержання холоднотвердіючих сумішей. /А. М. Каратеев, О.И. Пономаренко, Н. С. Евтушенко та ін. Заявка от 10.04.2007. Опубл. 25.05.2007. Бюл. № 7, 2007 р.
10. **Каратеев А. М.** Получение качественных отливок на основе смоляных связующих /А. М. Каратеев, О. И. Пономаренко, Н. С. Евтушенко и др. // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: тематичний збірник наукових праць*. 2010. № 3 (20). С. 150–153.
11. **Пономаренко О. И.** Использование смолы ОФОС в литейном производстве / О. И. Пономаренко, А. М. Каратеев, Н. С. Евтушенко и др. // *Процессы литья*. 2010. № 6. С. 27–32.
12. **Евтушенко Н. С.** Исследование поведения ХТС на смолах в процессе их деструкции // *Материалы Междунар. науч.-практ. выставки-конференции «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология»* (12–14 декабря 2011 г., г. Киев). Киев: ФТИМС НАН Украины, 2011. С. 102–103.
13. **Евтушенко Н. С.** Моделирование и стабилизация свойств холоднотвердеющих смесей на основе ОФОС /Н. С. Евтушенко, А. В. Бережная // *Металл и литье Украины*. 2011. № 6. С. 15–18.
14. **Евтушенко Н. С.** Исследование свойств регенерируемых песков // *Вісник НТУ «ХП»*. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХП». 2013. № 43 (1016). С. 99–104.

References

1. **Kukuj D. M., Skvorcov V. A., Jektova V. K.** *Teorija i tehnologija litejnogo proizvodstva* [Theory and Technology foundry]. Minsk, Dizajn PRO Publ., 2000, 416 p.
2. **Boldin A. N., Davydov N. I., Zhukovskij S. S.** *Litejnye formovochnye materialy. Formovochnye, sterzhnevye smesi i pokrytija* [Foundry molding materials. Forming, rod coating, and mixtures.]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006, 507 p.

3. Doroshenko S. P., Avdokushin V. P., Rusin K. *Formovochnye materialy i smesi* [Molding materials and mixtures]. Kiev, Vishha skola Publ., 1990, 415 p.
4. Titov N. D., Stepanov Ju. A. *Tehnologija litejnogo proizvodstva* [Foundry technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974, 472 p.
5. Kalashnikova A. Ja., Galkin G. P. *Formovochnye materialy i smesi dlja progressivnyh tehnologicheskikh processov izgotovlenija form i sterzhnej* [Molding materials and mixtures of progressive technological processes of manufacture of molds and cores]. Moscow, NIIMash Publ., 1976, 59 p.
6. Mel'nikov A. P., Kukuj D. M. *Sovremennye tendencii razvitiya tehnologii v litejnom proizvodstve* [Modern trends in the development of technology in the foundry industry]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2008, no.3(47), pp. 65–80.
7. Ponomarenko O. I., Evtushenko N. S., Berlizeva T. V. *Jekologija proizvodstva HTS v litejnom proizvodstve* [Ecology CHM production in foundry]. *Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Perspektivnye tehnologii, materialy i oborudovanie v litejnom proizvodstve»*, 12–14 sentjabrja 2011 g., g. Kramatorsk [Materials of III International scientific-technical conference «Advanced technologies, materials and equipment for the foundry industry» (September 12–14, 2011, Kramatorsk)]. Kramatorsk, DGMA Publ., 2011, pp. 143–145.
8. Tkachenko S. S., Krivickij V. S. *Stankostroenie i modernizacija litejnogo proizvodstva* [Machine-tool construction and modernization of foundry]. *Trudy 8-oj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Litejnoe proizvodstvo segodnja i zavtra»* (23–25 ijunja 2010 goda) [Proceedings of the 8th All-Russian scientific-practical conference «Foundry today and tomorrow» (23–25 June 2010)]. Sankt-Peterburg, 2010, pp.3–11.
9. *Patent na korisnu model'* UA № 23593 Ukraïna. *Sposib oderzhannja holodnotverdijuchih sumishej*. [A method of cold-mixes content] /A. M. Karateev, O.I. Ponomarenko, N. S. Cvtushenko ta in. Zajavka ot 10.04.2007. Opubl. 25.05.2007. Bjul. № 7, 2007 r.
10. Karateev A. M., Ponomarenko O. I., Evtushenko N. S. i dr. *Poluchenie kachestvennyh otlivok na osnove smoljanih svjazushhh* [Getting high-quality castings based resin binder]. *Visnik Donbas'koï derzhavnoï mashinobudivnoï akademii = Bulletin of Donbass State Engineering Academy*. Kramators'k, 2010, no.3 (20), pp.150–153.
11. Ponomarenko O. I., Karateev A. M., Evtushenko N. S. i dr. *Ispol'zovanie smoly OFOS v litejnom proizvodstve* [Using resin CFAS in the foundry industry.] *Processy lit'ja = Casting Processes*, 2010, no. 6, pp. 27–32.
12. Evtushenko N. S. *Issledovanie povedenija HTS na smolah v processe ih destrukcii* [Research on the behavior of CHM resins during their destruction]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy vystavki-konferencii «Litejnoe proizvodstvo: tehnologii, materialy, oborudovanie, jekonomika i jekologija* (12–14 dekabrja 2011 g., g. Kiev) [International scientific-practical conference and exhibition «Foundry: technology, materials, equipment, economy and ecology (December 12–14, 2011, Kiev)]. Kiev, FTIMS NAN Ukrainy, 2011, pp. 102–103.
13. Evtushenko N. S., Berezhnaja A. V. *Modelirovanie i stabilizacija svojstv holodnotverdejuushhh smesej na osnove OFOS* [Modeling and stabilization of properties of cold-mixes based on MOFOS]. *Metall i lit'e Ukrainy = Metals and casting of Ukraine*, 2011, no.6, pp. 15–18.
14. Evtushenko N. S. *Issledovanie svojstv regeneriruemih peskov* [Studying the properties of the recovered sand]. *Visnik NTU «HPI»*, 2013, no. 43 (1016), pp. 99–104.