

Д. т. н. Ю. Е. Пивинский<sup>1</sup> (✉), П. В. Дякин<sup>2</sup>, к. т. н. А. Д. Буравов<sup>1</sup>, А. М. Гороховский<sup>3</sup>,  
Л. А. Карпец<sup>3</sup>, Н. В. Гусев<sup>3</sup>, В. И. Хабарова<sup>3</sup>, Д. А. Каратаев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> ОАО «Динур», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

УДК 666.762.2.046.512:66.046.44

## ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВКВС ПЛАВЛЕНОГО КВАРЦА. Часть 11. Опыты по реализации новой безобжиговой технологии кварцевых огнеупоров\*

Проведены опытные работы по реализации новой безобжиговой технологии применительно к производству кварцевых сталеразливочных огнеупоров, оболочек роликов для печей отжига динамной стали и виброформируемых керамобетонных блоков. Полученные по этой технологии защитные трубы для разливки стали успешно прошли заводские испытания при разливке сталей как рядовых, так и с повышенным содержанием марганца. Их стойкость оказалась сопоставимой со стойкостью аналогичных изделий, получаемых по обжиговой технологии.

**Ключевые слова:** *плавленый кварц, ВКВС, кристобалит, силикат-глыба, сталеразливочные огнеупоры, разливка стали.*

В статьях [1–3] настоящей серии публикаций рассмотрены вопросы о влиянии щелочных добавок в виде порошка силикат-глыбы на спекание и кристобалитизацию образцов на основе ВКВС плавленого кварца. Актуальность этих исследований продиктована в том числе их практической значимостью для разработки нового варианта безобжиговой технологии кварцевых огнеупоров. Эта технология предусматривает упрочнение изделий введением в состав исходных формовочных систем щелочной добавки в виде порошка силикат-глыбы.

### ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ АНАЛОГИ И МЕХАНИЗМ УПРОЧНЕНИЯ

Первые опыты по безобжиговой технологии кварцевых огнеупоров были проведены еще в 70-е годы прошлого века [4–8]. Практическим основанием для разработки такой технологии являлся обнаруженный в те годы эффект резкого упрочнения сформованного (преимущественно кремнеземсодержащего) керамическо-

го или керамобетонного полуфабриката путем водной (при определенных рН) или тепловлажностной обработки [5, 6]. Эти керамические или огнеупорные материалы были получены посредством упрочнения химическим активированием контактных связей (УХАКС-материалы) [9, 10]. Механизм такого упрочнения объясним незначительным растворением твердой фазы с последующей конденсацией (регенерацией) раствора при сушке на поверхности и контактах частиц («холодное спекание») и протекает без изменения объема и пористости системы [9–11].

На первой стадии технологической апробации идеи в соответствии с изобретением [7] на Подольском заводе огнеупорных изделий (ПЗОИ) были получены и достаточно успешно испытаны на НЛМК опытные образцы сталеразливочных стаканов, упрочненных обработкой высушенных изделий в растворе жидкого стекла (плотность 1,02–1,05 г/см<sup>3</sup>) с последующей сушкой. На очередном этапе развития этой технологии для повышения механической прочности и стойкости огнеупоров в службе был реализован процесс гидротермальной обработки (8 ат) предварительно обработанного отформованного шликерным литьем полуфабриката в щелочном растворе [8, 12]. По этой технологии на ПЗОИ была получена опытная партия изделий, испытанная на НЛМК. Согласно выводам в статье [12] «безобжиговые, упрочненные гидротермальной обработкой кварцевые стаканы для разливки стали не уступают по стойкости обожженным. Более того, при контакте с агрессивными (марганцовистыми) ста-

\* Окончание. Часть 1 статьи опубликована в № 7 за 2014 г., части 2–7 в № 1, 3, 4, 6, 7 и 9 за 2015 г., части 8–10 в № 1, 3 и 5 за 2016 г.



Ю. Е. Пивинский  
E-mail: pivinskiy@mail.ru

лями износ безобжиговой керамики несколько ниже. Отмечено отсутствие пропитки безобжигового материала продуктами взаимодействия металла с огнеупором в процессе службы. Наименьший износ в службе показали безобжиговые стаканы на основе суспензий, полученных помолом в кислой среде и стабилизированных в щелочной среде».

В отличие от рассмотренных опытных работ на Первоуральском динасовом заводе в конце 80-х годов прошлого века была впервые реализована промышленная технология как получения ВКВС плавленного кварца плотностью до  $1,90 \text{ г/см}^3$ , так и центробежного формования огнеупоров на ее основе. Полученный при этом полуфабрикат подвергался гидротермальному упрочнению в автоклаве марки АВТРМ при давлении  $0,8 \text{ МПа}$  с выдержкой 5–8 ч. По этой технологии было освоено производство не только сталеразливочных стаканов и труб, но и более крупногабаритных оболочек роликов печей типа «Тандем» [5, 13, 14]. Применительно к этой технологии известны и реализованы два варианта повышения растворимости  $\text{SiO}_2$  и увеличения эффекта гидротермального упрочнения изделий в процессе автоклавной обработки — введением небольших щелочных добавок в виде жидкого стекла и использованием в качестве рабочей среды в автоклаве смеси паров воды и аммиака при его концентрации 15–20 % [5, с. 239]. Известно, что  $\text{NH}_4\text{OH}$  не образует устойчивых соединений с  $\text{SiO}_2$ , но увеличивает как его растворимость, так и ее скорость.

Сущность нового варианта безобжиговой технологии получения различных видов кварцевых огнеупоров была предварительно исследована и опробована применительно к получению некоторых не только огнеупорных, но и химически стойких строительных материалов на основе ВКВС кварцевого песка [15, 16]. В этом способе эффект упрочнения по УХАКС-механизму [5, 9] достигается введением в исходную формовочную систему оптимальной добавки порошка силикат-глыбы (дисперсный метасиликат натрия) с последующими формованием (литье, центробежное или виброформование, прессование) и сушкой. Режим сушки должен обеспечивать растворение в поровом объеме материала частиц метасиликата натрия, а соответственно, и  $\text{SiO}_2$  на контактах частиц полуфабриката с последующей полимеризацией порового раствора на заключительной стадии сушки.

Способность к растворению порошка силикат-глыбы как исходного материала в производстве жидкого стекла обусловлена наличием в нем связей  $\text{Si-O-Na}$ , которые диссоциируют и гидролизуются в соответствии с реакцией  $\text{SiO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Si-OH} + \text{OH}^-$ . В последующем накопившиеся в растворе гидроксид-ионы диффундируют к поверхности и разрушают крем-

некислородный каркас частиц матричной системы полуфабриката по связям  $\text{Si-O-Si}$ :  $\text{Si-O-Si} + \text{OH} \rightleftharpoons \text{Si-OH} + \text{Si-O}^-$ . При высыхании жидких стекол, сопровождающемся проявлением их вяжущих свойств, происходят процессы, обратные растворению щелочесиликатного стекла [15].

Заключительная стадия технологии материалов, получаемых по рассматриваемому в настоящей статье способу, состоит в сушке полуфабриката в интервале  $100\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$ . При этом достигается удаление гидратной воды, что способствует образованию более прочной силоксановой связи  $\text{Si-O-Si}$ . Благодаря этому получается высокополимерный нерастворимый в воде кремнегель. За счет этого прочность УХАКС-материалов после сушки при  $100\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$  значительно выше по сравнению с прочностью, достигнутой при сушке в воздушной атмосфере [9].

Основные опытные работы по исследованию рассматриваемого в настоящей работе способа были изучены при получении сталеразливочных огнеупоров на примере кварцевых защитных труб. К последним предъявляются высокие требования по относительно низкой пористости и пределу прочности при сжатии  $\sigma_{сж}$  не менее  $20 \text{ МПа}$ . Процесс их спекания, сопровождающийся значительным ростом как «горячей» прочности, так и кристобалитизации, осуществляется в процессе разлива стали [4, 5]. Новый способ изготовления безобжиговых огнеупоров опробован также применительно к технологии производства кварцевых оболочек роликов для транспортировки стальной ленты в печах обжига динамной стали [5, с. 385]. С учетом значительных массы ( $68 \text{ кг}$ ) и размеров (длина  $1420$ , диаметр  $220$  и толщина стенки  $55 \text{ мм}$ ), а также повышенных требований к точности размеров оболочек роликов (рис. 1) необходимым техно-

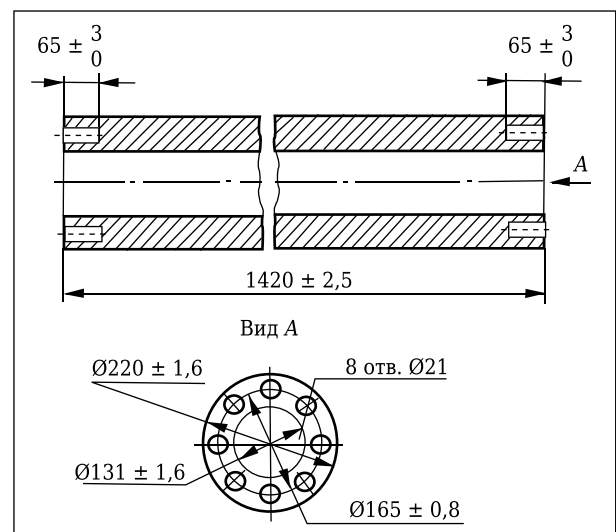


Рис. 1. Кварцевая оболочка ролика для транспортировки стальной ленты в печах обжига динамной стали

логическим требованием при их изготовлении является достижение заданной механической прочности ( $\sigma_{сж} = 10\div 15$  МПа) при низких значениях усадки (0,2–0,3 %). Обычно такие требования достигаются при температуре обжига около 1100 °С.

Применительно к безобжиговой технологии, предусматривающей введение щелочных добавок, дополнительным требованием является отсутствие кристобалитизации материала в преимущественном для этих оболочек интервале 850–950 °С. В связи с этим были проведены предварительные исследования по влиянию содержания добавки силикат-глыбы на усадку, пористость, плотность и предел прочности при изгибе образцов как в исходном (высушенном) состоянии, так и после термообработки (обжига) при 900, 1000 и 1150 °С с выдержкой 1 ч.

### ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ

Основные исследования по влиянию содержания добавки на свойства образцов были проведены на образцах-отливках, полученных шликерным литьем на основе ВКВС плавленного кварца плотностью 1,905 г/см<sup>3</sup> ( $C_V = 0,75$ ) с содержанием частиц

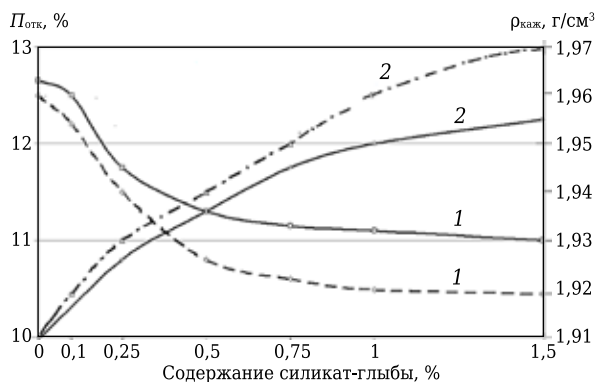


Рис. 2. Влияние добавки силикат-глыбы на открытую пористость (1) и кажущуюся плотность (2) образцов на основе ВКВС плавленного кварца после сушки (—) и обжига при 1000 °С (- - -)

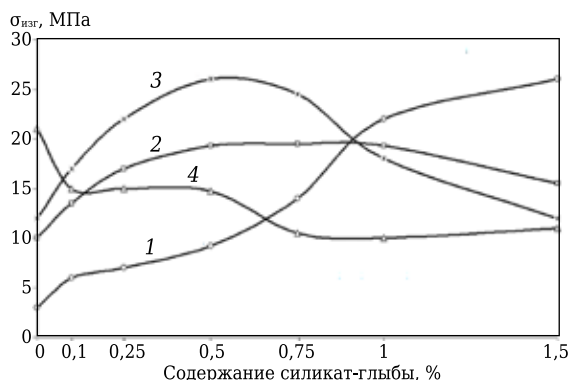


Рис. 3. Влияние добавки силикат-глыбы на  $\sigma_{изг}$  образцов после сушки (1) и обжига при 900 (2), 1000 (3) и 1150 °С (4)

менее 5 мкм 28 % и крупнее 63 мкм 16 %. Содержание добавки порошка силикат-глыбы варьировалось в пределах 0,1–1,5 %, или 0,025–0,37 % в пересчете на содержание  $Na_2O$ . На рис. 2 показано влияние содержания добавки силикат-глыбы на открытую пористость  $P_{отк}$  (кривые 1) и кажущуюся плотность  $\rho_{каж}$  (кривые 2) образцов.

Из рис. 2 следует, что введение добавок сопровождается заметным снижением пористости и повышением плотности исходных образцов. Так,  $P_{отк}$  снижается от 12,6 % у высушенных образцов без добавки до 11–11,2 % у образцов с добавками 0,5–1,5 %. У обожженных образцов разница в показателях  $P_{отк}$  и  $\rho_{каж}$  по сравнению с исходными значениями существенно увеличивается, особенно при содержании добавки более 0,5 %. Это обусловлено тем, что, как показано в предшествующих статьях [1–3], наличие щелочной добавки в образцах сопровождается существенным понижением температуры как спекания, так и кристобалитизации. Из сопоставления кривых 1 следует, что если разница показателей  $P_{отк}$  у образцов без добавки составляет только 0,10 %, то при добавке 0,5 и 1,0 % увеличивается до 0,4 и 0,6 % соответственно. Еще более значительная разница показателей  $\rho_{каж}$  (0,01–0,015 г/см<sup>3</sup>) при содержании добавки 1 и 1,5 %. Это обусловлено наличием в обожженном материале заметного содержания кристобалита, характеризующегося повышенной (с 2,2 до 2,32 г/см<sup>3</sup>) истинной плотностью.

На рис. 3 показано влияние содержания силикат-глыбы на предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг}$  образцов как в исходном (высушенном) состоянии, так и после термообработки. Уже при содержании добавки до 0,5 %  $\sigma_{изг}$  образцов повышается в 2–3 раза по сравнению с исходными значениями. Более существенный рост  $\sigma_{изг}$  наблюдается при содержании добавки 0,5–1,0 (от 9 до 22 МПа). После термообработки при минимальной температуре (900 °С)  $\sigma_{изг}$  существенно повышается и достигает максимальных значений (20 МПа) при содержании добавки 0,5 %. Аналогичный характер зависимости прочности и у образцов после обжига при 1000 °С. При этом, как и для кривой 2, максимальное значение  $\sigma_{изг}$  (25 МПа) соответствует содержанию добавки 0,5 %. Содержание добавки более 0,5 % сопровождается заметным падением прочности образцов. Это обусловлено тем, что при значительном содержании щелочной добавки (1–1,5 %) уже при относительно низкой температуре обжига образуется высокотемпературный кристобалит, который при охлаждении до средней температуры 270 °С в процессе перехода в низкотемпературную форму сопровождается деструкцией материала [3]. Еще более значителен этот эффект у образцов после обжига при 1150 °С. В этом случае даже у образцов с относительно низким количеством добавки (<0,5 %) их  $\sigma_{изг}$  значительно ниже по

сравнению с аналогичными показателями после 900–1000 °С. При содержании добавки 0,75–1,5 % значения  $\sigma_{изг}$  существенно ниже, чем у исходных образцов после сушки.

Из рис. 2 и 3 следует, что применительно к безобжиговой технологии получения оболочек роликов оптимальное содержание добавки силикат-глыбы составляет 0,25–0,50 % (или 0,06–0,12 % по содержанию  $Na_2O$ ). При этом достигаются как пониженные значения  $P_{отк}$ , так и повышенные значения  $\sigma_{изг}$  образцов как в исходном состоянии, так и особенно после относительно низкотемпературной (900–1000 °С) термообработки. С учетом преимущественной эксплуатации этих изделий при постоянном (без охлаждения) режиме в интервале 850–950 °С они могут быть вполне работоспособными.

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ БЕЗОБЖИГОВЫХ ОГНЕУПОРОВ

Основные работы по опытно-промышленной апробации новой технологии были проведены применительно к отработке опытной технологии и промышленным испытаниям центробежноформованных керамобетонных кварцевых защитных труб для разлива стали [4, 7, 8, 14]. В отличие от корундографитовых сталеразливочных огнеупоров, нуждающихся в предварительном разогреве, кварцевые огнеупоры, характеризующиеся максимальной среди всех огнеупорных материалов термостойкостью [4, 5], использовали без нагрева («холодный старт»). Функция защитной трубы, располагающейся между сталеразливочным и промежуточным ковшами, состоит в предотвращении окисления и турбулизации потока жидкой стали и регулирования ее расхода [17]. Основные предъявляемые к защитным трубам требования состоят в высокой их прочности при повышенных температурах, стойкости к коррозионному и абразивному износу. Особые требования предъявляются к термостойкости, что обусловлено резким изменением температуры защитных труб между плавками [17].

Для изготовления защитных труб по этой технологии применяли ВКВС плавленного кварца исходной плотностью 1,91–1,92 г/см<sup>3</sup> ( $C_V = 0,76$ , влажность ~12 %), характеризующуюся медианным диаметром частиц  $d_{50} = 6 \div 7$  мкм и содержанием частиц крупнее 63 мкм 14–16 %. Стабилизацию исходных ВКВС механическим перемешиванием осуществляли в щелочной области рН (9,0–9,5), что достигалось введением в их состав добавки (<0,1 %) водорастворимой силикат-глыбы. Керамобетонную смесь готовили в бетоносмесителе с первоначальным введением и смешением зернистого заполнителя (0,3–1,0 мм) и порошка силикат-глыбы в количестве 0,5–0,7 % от общей массы с последующим введением оптимального количества слива цен-

тробежного формования [4], смешением, а затем введением ВКВС плавленного кварца плотностью 1,91–1,92 г/см<sup>3</sup> и дополнительным смешением.

Предварительное увлажнение сухого зернистого заполнителя введением высокодисперсного слива (ВДКС) до влажности 2–3 % играет весьма важную роль. Это обусловлено тем, что в условиях смешения и последующего уплотнения между зернами заполнителя и ВДКС за счет действия электромолекулярных сил формируется достаточно прочная (устойчивая) поверхностная пленка, определяющая качественное смешение заполнителя с ВКВС и высокую степень уплотнения полуфабриката [18]. После последующего введения в состав смеси ВКВС плавленного кварца и смешения готовая саморастекающаяся смесь влажностью около 7 % характеризовалась содержанием около 50 % зернистого заполнителя (>0,1 мм) и 50 % полидисперсных частиц (0,1–100 мкм).

После окончания центробежного формования, осуществляющегося по трехступенчатому (по скорости вращения) режиму [19] на протяжении 20 мин, отформованное изделие характеризовалось существенно большим содержанием зернистого (>0,1 мм) заполнителя (~60 %). Удаляемый при этом высокодисперсный слив характеризовался плотностью 1,50–1,55 г/см<sup>3</sup>,  $C_V = 0,41 \div 0,45$  и  $d_{50} = 2,2$  мкм. Исходя из данных по массе слива и отформованного изделия, коэффициент избытка  $K_{изб}$  твердой фазы [4, с. 440] в процессе формования (отношение массы твердого в суспензии к массе сухой отливки) находился на уровне 1,035 (т. е.); избыток суспензии составлял всего лишь около 3,5 %. Исходная влажность отформованных изделий составляла 5,2–5,6 %. По аналогии с обычной технологией подсушку изделий в форме подачей теплого воздуха и последующее их извлечение из формы осуществляли непосредственно в цехе при 25–28 °С на протяжении 12–24 ч с последующей сушкой в сушильной камере при 100–120 °С. Показатели изделий  $P_{отк}$  12–13 %,  $\sigma_{сж}$  30–40 МПа, что эквивалентно обожженным изделиям.

Испытания опытной партии защитных труб на Нижнесергинском метизно-металлургическом заводе (г. Ревда Свердловской обл.) осуществляли при разливе конструкционной углеродистой стали марки Ст. Зпс (Mn ~0,5 %, С 0,14 %) и марганцовистой конструкционной низкоуглеродистой стали марки 35ГС (Mn 1,12 %, Si 0,6–0,9 %). В зависимости от состава температура стали в промежуточном ковше находилась в пределах 1520–1550 °С. Параллельно с опытными испытывали и серийно применяемые обожженные кварцевые трубы, производимые на Динуре. В результате испытаний при разливе стали марки 35ГС было установлено, что после одной плавки как опытные, так и серийные трубы характеризовались одинаковой скоростью износа — в пределах

0,46–0,49 мм / 10 т стали. При этом остаточная толщина изделий по шлаковому поясу составляла 15 мм при исходной 21 мм. При разливке двух плавок скорость износа как опытных, так и серийных изделий увеличилась до 0,7–0,72 мм / 10 т стали.

Весьма необычными оказались результаты испытаний опытной трубы при разливке стали 35ГС. Общеизвестно, что на эксплуатационные характеристики кварцевых сталеразливочных огнеупоров доминирующее влияние оказывает содержание Mn в разливаемой стали, так как аморфный SiO<sub>2</sub> (кварцевое стекло) под действием марганца восстанавливается до кремния по реакции  $2Mn + SiO_2 = 2MnO + Si$ . Под влиянием агрессивного воздействия MnO в системах SiO<sub>2</sub> – MnO – FeO образуются относительно легкоплавкие соединения [4, 5, 18] с температурой плавления в пределах 1250–1370 °С, что существенно ниже температуры стали в промежуточном ковше (1540–1580 °С). Это приводит к практически однозначной зависимости между содержанием Mn в стали и скоростью коррозии кварцевых сталеразливочных стаканов. Так, согласно данным [18] при увеличении содержания Mn в стали от 0,6 до 1,2 % степень износа возрастает в 5 раз.

Между тем в процессе испытаний было установлено, что при разливке двух плавок (260 т) стали 35ГС скорость износа трубы составила 0,69 мм / 10 т стали, что аналогично износу при разливке стали с существенно меньшим (0,5 %) содержанием Mn. По всей видимости, отмеченный результат обусловлен следующим обстоятельством. С учетом того что кварцевую трубу устанавливали в холодном состоянии, на первой стадии разливки на ее поверхности «намораживался» определенный слой стали. Последний в качестве своеобразного гарнисажа способствовал в дальнейшем определенному уменьшению износа трубы. Этот эффект нуждается в дальнейшем исследовании, а возможно, и в целенаправленной его реализации для повышения стойкости кварцевых сталеразливочных огнеупоров.

При сопоставлении эксплуатационных характеристик кварцевых и корундографитовых защитных труб [5, 20] целесообразно учитывать их теплозащитные характеристики. Известно, что кварцевая керамика имеет примерно в 10 раз меньшую теплопроводность, чем корундографитовые огнеупоры: 0,8 и 8 Вт/(м·К) при 1000 °С. В этой связи вполне закономерно предположение, что теплотери расплава при разливке, а соответственно, и падение температуры в промежуточном ковше по сравнению с падением температуры в сталеразливочном ковше при применении кварцевых теплозащитных труб будет меньшим. Вполне возможно, что за счет этого эффекта можно несколько снизить температуру расплава как в конвертере (электропечи), так и в сталеразливочном ковше, что, в свою очередь, может привести к увеличению срока службы футеровки.

В отличие от рассмотренной технологии получения защитных труб последняя применительно к изготовлению крупногабаритных оболочек роликов (см. рис. 1) основана на использовании для процесса формования только ВКВС плавленного кварца. Отмеченная особенность обусловлена тем, что оболочки роликов должны иметь гладкую наружную (рабочую) поверхность и поэтому процесс их центробежного формования в отличие от сталеразливочных огнеупоров осуществляется на основе ВКВС плавленного кварца без дополнительного введения в их состав зернистого заполнителя. Исследования были проведены с использованием ВКВС плавленного кварца плотностью 1,905 г/см<sup>3</sup> ( $C_V = 0,75$ ), стабилизированной в щелочной области pH (9,4) за счет введения в состав 0,1 % порошка силикат-глыбы. Суспензия характеризовалась содержанием частиц крупнее 63 мкм 15,7 %,  $d_{50} = 6,5$  мкм. Кроме того, в данном случае в соответствии с результатами исследований согласно рис. 1 и 2 введение добавки порошка силикат-глыбы ограничено 0,5 %.

Для формования ролика массой 68 кг в смеситель вводили 47 л ВКВС, содержащей 78 кг твердого. Добавку порошка силикат-глыбы в пределах 0,3–0,5 % вводили в состав ВКВС в увлажненном состоянии; смесь перемешивали около 5 мин. Процесс центробежного формования изделия осуществляли по обычно принятому режиму с общей продолжительностью 25 мин. Объем слива после формования изделия составил 11 л. Его плотность составляла 1,58 г/см<sup>3</sup>, pH = 10,6. С учетом данных по массе изделия (68 кг) и массе слива по сухому (11,7 кг) показатель  $K_{изб}$  составил 17 %. После 20-мин подсушки в форме изделие извлекали и для замедления процесса сушки на протяжении 10 ч выдерживали под пленкой. В дальнейшем после 1-сут сушки в цехе (25 °С) изделия подвергали окончательной сушке при 100–120 °С. После разрезания изделия средние значения  $P_{отк}$  составили 16–17 %,  $\sigma_{сж}$  15–20 МПа, что равно или превышает эти значения для аналогичных обожженных изделий.

Кроме того, проведены опытные работы по получению керамобетонных блочных изделий на основе формовочных систем, содержащих (по сухому) 40 % ВКВС плавленного кварца, 30 % заполнителя фракции 0,3–1 мм и 30 % фракции 1–3 мм. На основе этой смеси (влажность 5,6 %) с дополнительным содержанием 0,35 % порошка силикат-глыбы методом виброформования в металлических формах [5, 18] были получены керамобетоны, характеризующиеся после сушки  $P_{отк}$  12 % и  $\sigma_{сж}$  30–50 МПа.

Таким образом, показана принципиальная возможность получения различных огнеупоров на основе ВКВС плавленного кварца по безобжиговой технологии, предусматривающей введение в состав исходных формовочных систем порошка силикат-глыбы с последующими смешением,

центробежным или вибрационным формованием изделий и заключительной сушкой. В результате промышленных испытаний кварцевых защитных труб для разлива стали установлено, что по эксплуатационным характеристикам они не уступают обычным обожженным изделиям.

**Библиографический список**

1. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 8. Влияние щелочных добавок на спекание и кристобалитизацию керамики в режиме неизотермического нагрева / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, А. Ю. Колобов // Новые огнеупоры. — 2016. — № 1. — С. 22–28.
2. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 9. Влияние щелочных добавок на кристобалитизацию и тепловое расширение материалов после неизотермического нагрева / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, А. Ю. Колобов // Новые огнеупоры. — 2016. — № 3. — С. 123–128.
3. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 10. О некоторых свойствах кристобалитсодержащих материалов / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, А. Ю. Колобов // Новые огнеупоры. — 2016. — № 5. — С. 27–33.
4. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2 т. Т. I. Теоретические основы и технологические процессы / Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев ; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М. : Теплоэнергетик, 2008. — 672 с.
5. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2 т. Т. II. Материалы, их свойства и области применения / Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев ; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М. : Теплоэнергетик, 2008. — 464 с.
6. **Пивинский, Ю. Е.** Основы технологии керамобетонов / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры. — 1978. — № 2. — С. 34–42.  
**Pivinskii, Yu. E.** Fundamentals of technology of ceramconcrete / Yu. E. Pivinskii // Refractories. — 1978. — Vol. 19, № 1. — P. 102–111.
7. **А. с. 688482 СССР.** Способ производства кварцевых огнеупоров / Ю. Е. Пивинский, В. А. Бевз, А. С. Шаталин и др. ; заявл. 25.04.78 ; опубл. 30.09.79, Бюл. № 36.
8. **А. с. 804607 СССР.** Способ изготовления кварцевой керамики / В. А. Бевз, Ю. Е. Пивинский ; заявл. 04.04.79 ; опубл. 15.02.81, Бюл. № 6.
9. **Пивинский, Ю. Е.** Получение безобжиговых керамических материалов путем упрочнения химическим активированием контактных связей / Ю. Е. Пивинский, В. А. Бевз, Р. Я. Попильский // Огнеупоры. — 1981. — № 4. — С. 50–56.  
**Pivinskii, Yu. E.** Production of unfired ceramic materials by strengthening with chemical activation of the contact bonds / Yu. E. Pivinskii, V. A. Bevz, R. Y. Popil'skii // Refractories. — 1981. — Vol. 22, № 3. — P. 234–241.
10. **Пивинский, Ю. Е.** Неформованные огнеупоры. Т. I. Общие вопросы технологии / Ю. Е. Пивинский. — М. : Теплоэнергетик, 2003. — 448 с.
11. **Пивинский, Ю. Е.** Реология дисперсных систем, ВКВС и керамобетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном материаловедении : избр. тр. В 3 т. Т. 3 / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Политехника, 2012. — 682 с.

12. **Пивинский, Ю. Е.** Безобжиговые кварцевые стаканы для разлива стали / Ю. Е. Пивинский, Ф. С. Каплан, С. Г. Семикова [и др.] // Огнеупоры. — 1989. — № 1. — С. 39–43.  
**Pivinskii, Yu. E.** Unfired quartz nozzles for teeming of steel / Yu. E. Pivinskii, F. S. Kaplan, S. G. Semikova [et al.] // Refractories. — 1989. — Vol. 30, № 1. — P. 39–43.
13. **Пивинский, Ю. Е.** Разработка и внедрение в производство, служба безобжиговых огнеупоров / Ю. Е. Пивинский, Т. И. Литовская, О. Н. Самарина, Ф. С. Каплан // Огнеупоры. — 1989. — № 9. — С. 40–44.  
**Pivinskii, Yu. E.** Development, introduction into production, and service of unfired quartz refractories / Yu. E. Pivinskii, T. I. Litovskaya, O. N. Samarina, F. S. Kaplan // Refractories. — 1989. — Vol. 30, № 9/10. — P. 572–578.
14. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические и огнеупорные материалы : избр. тр. В 3 т. Т. II / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Стройиздат СПб., 2003. — 668 с.
15. **Пивинский, Ю. Е.** Разжижающие, пластифицирующие и упрочняющие добавки как эффективные модификаторы в технологии ВКВС и керамобетонов / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2012. — № 2. — С. 16–23.  
**Pivinskii, Yu. E.** Thinning, plastifying and strengthening additions as effective modifiers in HCBS and ceramic concrete technology / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2012. — Vol. 56, № 1. — P. 12–18.
16. **Петров, В.** Дом из песка / Липецкая газета. 05.06.2012. С. 1, 2. <http://www.Lpgzt.ru/article/23630>. Html.
17. **Кащеев, И. Д.** Свойства и применение огнеупоров / И. Д. Кащеев. — М. : Теплотехник, 2004. — 352 с.
18. **Пивинский, Ю. Е.** Изучение вибрационного формования керамобетонов. Формовочные системы и основные закономерности процесса / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры. — 1993. — № 6. — С. 8–14.  
**Pivinskii, Yu. E.** Vibrational molding of ceramic concretes. Molding systems and the regularities of the process / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 1993. — Vol. 34, № 5. — P. 313–322.
19. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 3. Изучение и совершенствование процесса центробежного формования / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2015. — № 3. — С. 79–90.  
**Pivinskii, Yu. E.** Research in the area of preparing materials based on fused quartz HCBS. Part 3. Study and improvement of centrifugal casting / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2015. — Vol. 56, № 2. — P. 126–135.
20. **Пивинский, Ю. Е.** О рекордной стойкости в службе кварцевых защитных труб для разлива стали / Ю. Е. Пивинский, А. М. Гороховский, А. В. Макаров // Новые огнеупоры. — 2004. — № 12. — С. 17, 18.  
**Pivinskii, Yu. E.** Record-breaking durability of quartz protecting tubes for steel teeming tested under service conditions / Yu. E. Pivinskii, A. M. Gorokhovskii, A. V. Makarov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2005. — Vol. 46, № 1. — P 27, 28. ■

Получено 24.03.16

© Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, А. Д. Бураков, А. М. Гороховский, Л. А. Карпец, Н. В. Гусев, В. И. Хабарова, Д. А. Каратаев, 2016 г.