

С. И. Репях /д. т. н./, М. В. Матюха,
Е. И. Костикова, Р. В. Усенко /к. т. н./,
М. О. Матвеева /д. т. н./, Б. В. Климович

Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина
e-mail: urv8119@gmail.com

Жидкостекольная керамическая оболочковая форма на основе плакированного кварцевого песка

S. I. Repyakh /Dr. Sci. (Tech.)/, M.V. Matiukha,
K. I. Kostikova, R. V. Usenko /Cand. Sci. (Tech.)/,
M. O. Matvieieva /Dr. Sci. (Tech.)/,
B. V. Klimovych

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipo, Ukraine
e-mail: urv8119@gmail.com

Liquid glass ceramic sheave form on the basis of a placed quartz sand

Цель. Получение жидкостекольной керамической оболочковой формы с высоким пределом прочности при статическом изгибе в непрокалённом состоянии и в предварительно прокалённом состоянии, а также обеспечение целостности первому слою огнеупорного покрытия к окончанию его сушки на прямых и острых внешних углах выплавляемых моделей отливок.

Методика. В работе использована оригинальная методика, стандартные и общепринятые методы исследований, в числе которых: методика по определению условной вязкости суспензии, массы, времени, температуры, относительной влажности и скорости воздуха.

Результаты. Установлено влияние материала вещества-плакиратора кварцевого песка на прочность жидкостекольной керамической оболочковой формы в непрокалённом и предварительно прокалённом состоянии.

Научная новизна. Установлена возможность предотвращения возникновения трещин и отслоения первого жидкостекольного слоя огнеупорного покрытия от поверхности выплавляемой модели отливки за счёт использования в качестве обсыпочно-материала этого слоя кварцевого песка, плакированного кальцийсодержащим материалом.

Практическая значимость. Полученные данные позволяют в условиях литейного цеха предотвращать возникновение трещин и отслоение первого жидкостекольного слоя огнеупорного покрытия от поверхности выплавляемой модели отливки. (Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 2 назв.)

Ключевые слова: выплавляемая модель, суспензия, слой, трещина, отслоение, песок, плакирование.

Состояние вопроса. Натриевое жидкое стекло с величиной силикатного модуля 2,9...3,1 при изготовлении керамических оболочковых форм (КО) в основном используют как вспомогательное связующее. При этом на жидком стекле выполняют последние 2...3 слоя КО с целью снижения расхода дорогостоящих этилсиликата, органических растворителей или кремнезоля. Ограниченность области использования жидкого стекла обусловлена рядом факторов, в числе которых [1]:

- зависимость влажности огнеупорного покрытия от параметров сушки и конфигурации выплавляемой модели (ВМ) отливки;
- низкая трещиностойчивость первого слоя огнеупорного покрытия на острых углах и тонких кромках ВМ;
- высокая прочность формы в спечённом состоянии и др.

Одним из путей изменения свойств КО является использование для их обсыпки плаки-

рованного зернистого огнеупора. В частности обсыпка этилсиликатных слоёв КО зернистым огнеупором, плакированного смесью жидкого стекла и феррохромового шлака, приводит к сокращению цикла изготовления КО и повышению её прочности [2]. Тем не менее подобные данные для жидкостекольной КО на её свойства на сегодня отсутствуют.

Задача исследований. Получение жидкостекольной керамической оболочковой формы с пределом прочности при статическом изгибе в непрокалённом состоянии $\sigma_{и} \geq 7$ МПа и $\sigma_{и} = 3...4$ МПа в прокалённом состоянии и обеспечение целостности первому слою огнеупорного покрытия к окончанию его сушки на острых углах ВМ.

Основные результаты исследований. Из всего конфигурационного многообразия ВМ с точки зрения сохранения целостности первого слоя огнеупорного покрытия наиболее

проблемными являются их плоские развитые поверхности при отсутствии на их торцах радиусов закругления тела. На торцевых (внешних углах) таких элементов ВМ при определённых условиях появляются трещины и/или отслоение первого слоя от поверхности ВМ.

Исходя из этого, в качестве эталона ВМ приняли стеклянную пластину (2×100×150 мм). Перед использованием на поверхности всех стеклянных пластин путём одноразового погружения в расплав модельного состава наносили слой модельного состава, толщина которого составляла до 0,3 мм. Впоследствии на участки пластин, покрытые модельным составом, наносили жидкостекольную огнеупорную суспензию и обсыпали её зернистым материалом, что схематично представлено на рис. 1а.

В качестве зернистого материала использовали кварцевый песок с преимущественным размером частиц $d = 0,2$ мм. Перед использованием, согласно плану эксперимента, часть такого кварцевого песка плакировали. Для плакирования использовали жидкое стекло с удельной плотностью $\rho_{\text{ЖС}} = 1140...1145$ кг/м³ и величиной силикатного модуля $M_{\text{SiO}_2} = 2,9$. Количество введенного жидкого стекла в плакируемый песок составляло 4 % от массы приготавливаемой песчано-жидкостекольной смеси.

Сушку плакированного песка проводили в сверхвысокочастотной печи, помол высушенных смесей осуществляли в дробилке валкового типа. По результатам ситового анализа преимущественный размер окомкованных частиц песка после помола составил $d = 0,4$ мм. Таким образом, в результате проведенных технологических операций, испытываемые образцы жидкостекольной керамической оболочковой формы (ЖКО) были изготовлены на основе:

- 1 – неплакированного песка;
- 2 – песка, плакированного жидким стеклом (ЖС);

3 – песка, плакированного смесью ЖС и кальцийсодержащего материала (ОС), массовое содержание которого составляло 5 %, 6, 7, 8, 9, 10 и 20 % сверх 100 % ЖС;

4 – песка, плакированного смесью ЖС и силикат глыбы (СГ), массовое содержание которой составляло 10 % сверх 100 % ЖС.

Жидкостекольные огнеупорные слои наносили с использованием суспензии, приготовленной из стекла натриевого жидкого с величиной силикатного модуля $M_{\text{SiO}_2} = 2,9$ и $\rho_{\text{ЖС}} = 1135...1145$ кг/м³ – для первого слоя ЖКО и с $M_{\text{SiO}_2} = 2,9$ и $\rho_{\text{ЖС}} = 1279...1281$ кг/м³ – для 2...4-го слоёв ЖКО. Массовое соотношение пылевидного кварца к ЖС в суспензии для первого слоя ЖКО составляло $f = 1,88$. Условная вязкость огнеупорной суспензии для 2...4-го слоёв ЖКО составляла 28...29 с (по вискозиметру ВЗ-4).

На плоские образцы огнеупорную суспензию наносили методом окунания. Обсыпанные соответствующим кварцевым песком образцы сушили в потоке воздуха с температурой 31...33 °С в течение 50...60 мин, после чего проводили их химическое закрепление. Для химического закрепления использовали насыщенный водный раствор сернокислого алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$), который на поверхность первого слоя ЖКО наносили методом распыления. По окончании химического закрепления первый слой ЖКО сушили в потоке тёплого воздуха, после чего визуально невооружённым глазом оценивали его качество – наличие трещин и отслоение от поверхности модельного состава на стекле.

По результатам визуального осмотра изготовленных образцов установлено, что образцы с номерами 1, 2, 4, а также с номером 3, содержащие ОС менее 9 %, имели торцевые трещины либо отслаивались от поверхности ВМ в момент их химического закрепления. В тоже время образцы с номером 3, содержащие ОС более 9 %, не имели отслоений и разрушений (трещин), что следует из данных, приведенных в табл. 1.

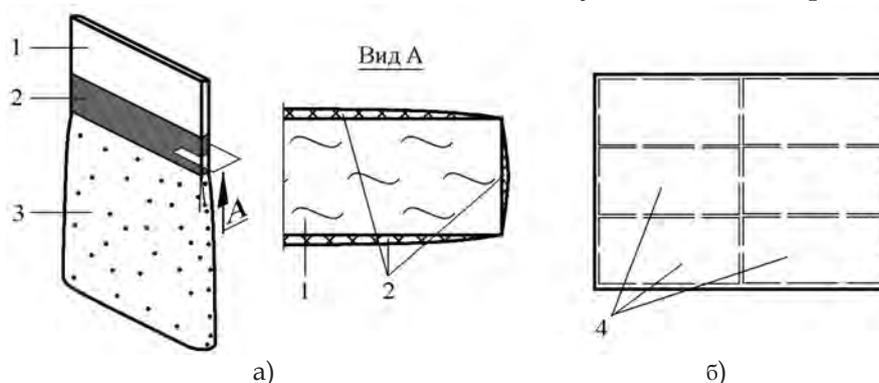


Рис. 1. Схемы расположения огнеупорного покрытия на ВМ пластинчатого типа (а) и вырезки из него образцов для механических испытаний (б):

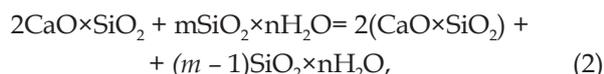
1 – стеклянная пластина; 2 – модельный состав; 3 – огнеупорное покрытие; 4 – образцы

Наличие дефектов на первом слое КО, обсыпанных кварцевым песком со средним размером 0,4 мм, плакированных кальцийсодержащим материалом при $f = 1,88$

Вид дефекта первого слоя	Наличие дефектов при количестве кальцийсодержащего материала в плакирующем слое, % (по массе)						
	5	6	7	8	9	10	20
«Пробой» первого слоя	-	-	-	-	-	-	-
Трещины	+	+	+/-	+/-	-	-	-
Отслоение	+	+/-	-	-	-	-	-

Примечание. (+) – дефект есть; (-) – дефекта нет.

Данная закономерность обусловлена тем, что твердение жидкого стекла и в плакированном слое (слоях ЖКО), по-видимому, вызвано изменением (понижением) величины силикатного модуля ЖС за счёт перехода двуокиси кальция либо двухкальциевого силиката на поверхности частиц ОС в кальциевый силикат. То есть кальциевый силикат образуется в результате взаимодействия, соответственно, CaO либо $2\text{CaO} \times \text{SiO}_2$ с одной молекулой SiO_2 жидкого стекла в соответствии с формулами:



что и является причиной понижения величины силикатного модуля ЖС.

Очевидно, что скорость понижения силикатного модуля ЖС и, следовательно, твердение ЖС в слое суспензии значительно опережает процесс испарения воды из него. Как результат, в затвердевшем, но ещё не высохшем слое огнеупорной суспензии не будут возникать усадочные явления, соответственно, напряжения, приводящие к его разрушению или отслоению от поверхности ВМ. В свою очередь, отсутствие усадки такого слоя должно приводить к повышению в нём открытой пористости и, соответственно, способствовать повышению газопроницаемости ЖКО и снижению её прочности в прокалённом состоянии.

Величину $\sigma_{\text{и}}$ испытываемых ЖКО рассчитывали по методике [1] для трёхточечной схемы нагружения испытываемых образцов, вырезанных из четырёхслойных ЖКО в соответствии со схемой на рис. 1б.

Сушку 2...4-го слоёв ЖКО проводили в потоке воздуха с температурой 32...35 °С в течение 3–4 ч для второго слоя, 8 ч для третьего слоя и не менее 12 ч для четвертого слоя. По окончании сушки ЖКХ повторно химически закрепляли и высушивали в печи сверхвысокочастотного излучения. Прокаливание ЖКХ проводили в печи сопротивления шахтного типа по следующему режиму:

- температура в печи при загрузке в неё образцов – 20...25 °С;
- повышение температуры в печи до 600 °С в течение 2 ч;
- изотермическая выдержка при 600 ± 10 °С в течение 20...30 мин;
- повышение температуры в печи до 950 °С в течение 1,5 ч;
- изотермическая выдержка при 950 ± 10 °С в течение 1 ч;
- охлаждение с печью до комнатной температуры в течение 2 ч.

Результаты определения предела прочности при статическом изгибе «сырых» и предварительно прокалённых образцов ЖКО представлены в виде гистограммы на рис. 2.

Из анализа гистограммы на рис. 2 следует, что в непрокалённом (сыром) состоянии влияние плакирования кварцевого песка на прочность ЖКО практически не ощутимо и находится в пределах от 7,1 до 7,7 МПа. Однако величина предела прочности при статическом изгибе прокалённой ЖКО существенно понижается при плакировании кварцевого песка как чистым жидким стеклом, так и его смесью с силикат-глыбой. Ещё более значительное понижение уровня данного показателя наблюдается с увеличением массовой доли кальцийсодержа-

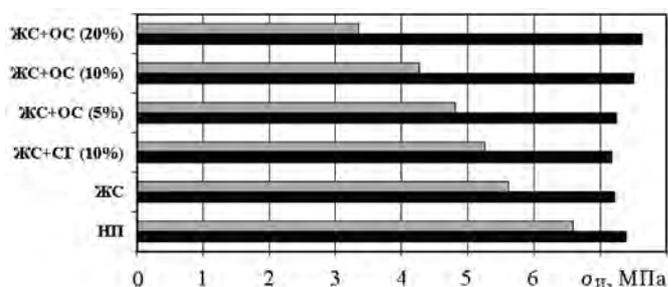


Рис. 2. Гистограмма $\sigma_{\text{и}}$ прокалённой (■) и непрокалённой (■) ЖКО на чистом кварцевом песке (НП), а также песке, плакированном: ЖС – жидким стеклом; ЖС + СГ (10%) – смесью жидкого стекла с 10 % силикат-глыбы; ЖС + ОС (5 %, 10, 20 %) – жидкого стекла с 5 %, 10 и 20 % кальцийсодержащего материала соответственно

щего материала в плакированном слое, о чём свидетельствует зависимость на рис. 3.

Выводы

1. Установлена возможность предотвращения возникновения трещин и отслоения первого жидкостеклового слоя огнеупорного покрытия от поверхности выплавляемой модели отливки за счёт использования в качестве обсыпочно-го материала этого слоя кварцевого песка, плакированного кальцийсодержащим материалом.

2. Плакирование кварцевого песка (преобладающий размер окомкованных частиц 0,4 мм) жидким стеклом или смесью жидкого стекла с силикат-глыбой или кальцийсодержащим материалом не влияет на прочность непрокалённой ЖКО, но понижает прочность предварительно прокалённой ЖКО.

3. Наибольшую технологичность и заданный уровень прочности приобретают ЖКО, для изготовления которых был использован кварцевый песок, плакированный смесью жидкого стекла с 9...20 % (сверх 100 % массы жидкого стекла) кальцийсодержащего материала.

Библиографический список / References

1. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям / С. И. Репях – Днепрпетровск: Лира, 2006. – 1056 с.

Repyakh S. I. *Tekhnologicheskiye osnovy lit'ya po vuplavlyayemyum modelyam.* Dnepropetrovsk, Lira, 2006, 1056 p.

2. Знаменский Л. Г. Плакированные обсыпки в литье по выплавляемым моделям / Л. Г. Знаменский, О. В. Ивочкина, А. С. Варламов, М. В. Судариков // Вестник ЮУрГУ. – 2008. – № 9. – С. 37–40.

Znamenskiy L. G., Ivochkina O. V., Varlamov A. S., Sudarikov M. V. *Plakirovannyye obsypki v lit'ye po vuplavlyayemyum modelyam.* Vestnik YUUrGU. 2008, no. 9, pp. 37-40.

Purpose. The production of a liquid-glass ceramic shell mold with a high tensile strength under static

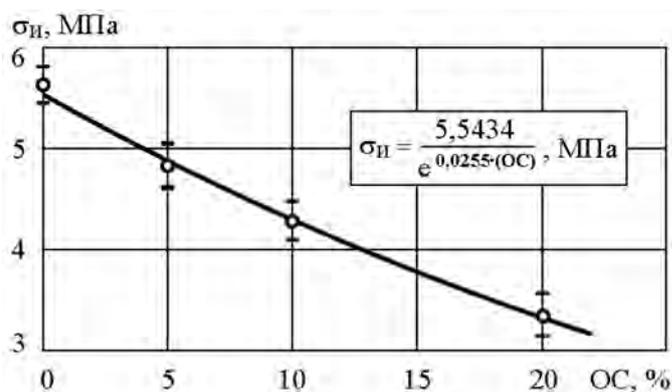


Рис. 3. Зависимость $\sigma_{II} = f(OC)$ при 20 °С прокалённых ЖКО

bending in an uncured state and in a pre-calcined state, as well as ensuring the integrity of the first layer of refractory coating to the end of its drying on the straight and sharp outer corners of the casting models.

Methodology. The original technique, standard and generally accepted methods of research are used in the work. Among them are methods for determining the conditional viscosity of a suspension, mass, time, temperature, relative humidity and air speed.

Findings. The influence of the material of the quartz sand plaster substance on the strength of the liquid-glass ceramic shell mold in the uncured and pre-calcined state is established.

Originality. The possibility of preventing cracks and detachment of the first liquid-glass layer of the refractory coating from the surface of the casting model is established by using quartz sand clad with calcium-containing material as the covering material of this layer.

Practical value. The obtained data allow under the conditions of the foundry shop to prevent occurrence of cracks and detachment of the first liquid-glass layer of the refractory coating from the surface of the casting model.

Key words: melted model, suspension, layer, crack, peeling, sand, cladding.

Рекомендована к публикации
д. т. н. В. Е. Хрычковым

Поступила 20.03.2017

Metallurgical and Mining
Industry

www.metaljournal.com.ua