

*Канд. техн. наук В. В. Мартыненко,
д-р техн. наук В. В. Примаченко,
канд. техн. наук Ю. Е. Мишневa, канд. техн. наук К. И. Кущенко,
канд. техн. наук Ю. А. Крахмаль, Э. Л. Карякина
(ПАО «УКРНИИ ОГНЕУПОРОВ ИМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»,
г. Харьков, Украина)*

Исследование реологических свойств глиноземистых шликеров, содержащих новые диспергирующую и упрочняющую добавки

Введение

В технологии корундовой керамики значительное место занимает метод шликерного литья в гипсовые формы. Преимуществом этого метода является простота оборудования, невысокая стоимость форм и оснастки, а также возможность изготовления изделий, разнообразных по конфигурации, размерам и массе [1—5]. Качественное формование изделий при шликерном литье обусловлено реологическими свойствами шликера, регулирование которых может быть осуществлено различными способами, в том числе введением различных добавок [6; 7]. В работе [8] показана возможность получения корундовой керамики с использованием диспергирующей и упрочняющей добавок.

В ПАО «УКРНИИ ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» разработана технология корундовой керамики методом шликерного литья в гипсовые формы из глиноземистых шликеров, в которых в качестве твердой фазы применяют готовый к использованию тонкодисперсный высокочистый низкощелочной глинозем марки MARTOXID MR70 (компании «MARTINSWERK GmbH» корпорации «ALBEMARLE», Германия), а в качестве дисперсионной среды — дистиллированную воду. Обжиг изделий по этой технологии проводят при температуре 1580 °С, что обеспечивает получение высококачественной обособленной корундовой керамики [9; 10]. Вместе с тем, существует потребность в совершенствовании технологии корундовой керамики методом шликерного литья в гипсовые формы, в том числе за счет опробования новых диспергирующей и упрочняющей добавок.

Таким образом, проведение исследований влияния диспергирующей и упрочняющей добавок на реологические свойства

глиноземистых шликеров с целью получения высококачественного сырца и обожженных изделий из корундовой керамики методом шликерного литья в гипсовые формы, а также совершенствования технологии является актуальным.

Экспериментальная часть

Для проведения исследований в качестве основного компонента использовали глинозем марки MARTOXID MR70 (компания «MARTINSWERK GmbH» корпорации «ALBEMARLE», Германия) с содержанием $Al_2O_3 \approx 99,8\%$, удельной поверхностью 6—10 м²/г, насыпным весом — 900 кг/м³ [11]. В качестве диспергирующей добавки использовали водный раствор аммониевой соли акрилового сополимера, который относится к классу высокоэффективных низковязких диспергирующих агентов для водно-дисперсионных материалов марки DISPEX A40 (компания «BASF Construction Polymers GmbH», Германия). Данная добавка представляет собой жидкость с pH = 7,5, вязкостью при 25 °C — 400 мПа·с и плотностью 1,23 г/см³. Рекомендуемое фирмой-производителем количество диспергатора колеблется от 0,5 до 2,0 % [12]. В качестве упрочняющей добавки использовали водный дисперсный полимер с pH = 7, вязкостью при 20 °C — 20 мПа·с и плотностью 1,07 г/см³ марки OPTAPIX A170 (компания «ZSCHIMMER & SCHWARZ GmbH & Co KG CHEMISCHE FABRIKEN», Германия). Для повышения прочности сырца фирмой-производителем рекомендуется варьировать количество добавки в пределах 0,05—0,40 % [13].

Для проведения исследований готовили шликеры плотностью 2,1; 2,3 и 2,5 г/см³ (их влажность соответственно составляла 30, 25 и 20 %).

Для определения времени истечения (текучести) и относительной вязкости шликеров использовали вискозиметр Энглера [14; 15]. Относительную вязкость шликеров, выраженную в градусах Энглера (°E), определяли как отношение времени истечения шликера ко времени истечения такого же объема воды при одинаковых условиях, при этом время истечения воды составляло 3,5 с.

Определение динамической вязкости шликера осуществляли при помощи ротационного цифрового вискозиметра Брукфильда LVDV-II+ Pro при скорости вращения шпинделя 100 об/мин.

Скорость набора черепка [14] определяли методом тигельков, для которого использовали гипсовые формы в виде

усеченного конуса (форма тигля). В высушенную форму доверху наливали шликер и оставляли спокойно стоять. Продолжительность набора черепка составляла 3, 5, 7 и 10 мин. По прошествии указанного времени излишек шликера выливали, а тигельки на 2—3 мин оставляли опрокинутыми для окончательного стекания шликера. После этого тигельки взвешивали и рассчитывали скорость набора.

Массу набранного на стенки гипсового тигля черепка g (г) определяли по формуле:

$$g = \frac{(P - P_0)(100 - W_{\text{шл}})}{100},$$

где P — масса формы с набранным черепком, г; P_0 — масса высушенной формы, г; $W_{\text{шл}}$ — относительная влажность шликера, %.

Набор черепка на стенки гипсовой формы (г/см²) определяли как отношение $\frac{g}{F}$, где F — площадь поверхности гипса, соприкасающегося со шликером, см².

Скорость набора черепка C_n (г/(см²·мин)) рассчитывали по формуле:

$$C_n = \frac{g}{F \cdot \tau},$$

где τ — время набора черепка, мин.

Для гипсовой формы тигля поверхность соприкосновения со шликером F (см²), определяли по формуле:

$$F = \frac{\pi(d + d_1)L}{2} + \frac{\pi d_1^2}{4},$$

где d — внутренний диаметр дна формы тигля, см; d_1 — внутренний диаметр верхнего основания, см; L — длина образующей внутренней части формы тигля, см.

Для определения устойчивости (стабильности) шликера [14] в стеклянный мерный цилиндр объемом 250 мл заливали исследуемый шликер и выдерживали 24 ч. По окончании хранения отмечали визуально объем отделившейся жидкой фазы суспензии. Показатель устойчивости литейных шликеров определяли по формуле:

$$U = \frac{V_{\text{шл}}}{V_c},$$

где $V_{\text{шл}}$ — объем исследуемого шликера, см³; V_c — объем отделившейся жидкой фазы, см³.

Для исследования влияния диспергирующей и упрочняющей добавок на свойства корундовой керамики изготавливали образцы методом шликерного литья в гипсовые формы в виде цилиндров диаметром и высотой 36 мм. Образцы сушили до постоянного веса при температуре 110 °С, затем обжигали в камерной печи периодического действия опытного производства ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» при температуре 1580 °С с выдержкой при конечной температуре 8 ч.

Кажущуюся плотность высушенного при 110 °С сырца определяли как отношение массы образцов к их объему, предел прочности при сжатии сырца — в соответствии с ГОСТ 4071.1—94. Изменение линейных размеров образцов в обжиге определяли как отношение разницы линейных размеров образцов до и после обжига к их линейным размерам до обжига. Открытую пористость, кажущуюся плотность образцов после обжига определяли в соответствии с ГОСТ 2409—95.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования отдельного влияния массовой доли диспергирующей и упрочняющей добавок на время истечения и относительную вязкость шликера с различной плотностью представлены на рис. 1 (а, б) соответственно.

Из рис. 1 следует, что с увеличением массовой доли диспергирующей добавки в шликере независимо от его плотности время истечения и относительная вязкость сначала уменьшается, достигая минимума при введении 0,2 % диспергирующей добавки для шликера с плотностью 2,1 и 2,3 г/см³ и 0,3 % — для шликера с плотностью 2,5 г/см³. Для шликера с плотностью 2,1 и 2,3 г/см³ характерно наличие жидкой фазы в большем количестве, поэтому значения времени истечения и относительной вязкости его меньше и, следовательно, необходимо меньшее количество диспергатора, снижающего вязкость системы. Дальнейшее увеличение массовой доли диспергирующей добавки в шликере, независимо от его плотности, приводит к незначительному увеличению времени истечения шликера и, следовательно, к увеличению его относительной вязкости. Введение 0,05 % упрочняющей добавки приводит к незначительному снижению времени истечения и относительной вязкости шликера независимо от его плотности. Дальнейшее увеличение количества упрочняющей добавки в шликере практически не оказывает влияния на его время истечения и относительную вязкость.

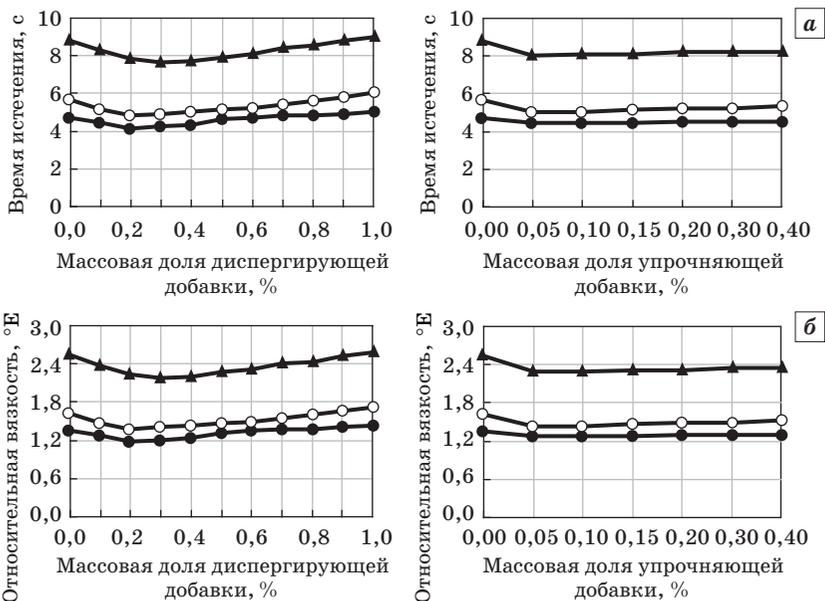


Рис. 1. Зависимость времени истечения (а) и относительной вязкости (б) шликера от массовой доли диспергирующей и упрочняющей добавок при различных значениях плотности шликера, где: ● — плотность шликера 2,1 г/см³; ○ — плотность шликера 2,3 г/см³; ▲ — плотность шликера 2,5 г/см³

Результаты зависимости динамической вязкости шликера от массовой доли диспергирующей и упрочняющей добавки и от плотности шликера представлены на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что независимо от вида вводимой добавки, чем больше плотность шликера, тем выше значения динамиче-

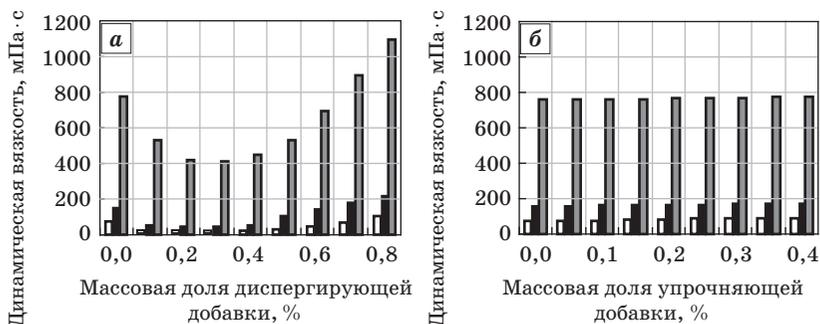


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости шликера с плотностью 2,1 г/см³ (□), 2,3 г/см³ (■), 2,5 г/см³ (▒) от массовой доли диспергирующей (а) и упрочняющей (б) добавок

скої вязкості. С увеличением массовой доли диспергирующей добавки в шликере независимо от его плотности динамическая вязкость шликера уменьшается, достигая минимума при введении 0,2 % диспергирующей добавки для шликера с плотностью 2,1 и 2,3 г/см³ и 0,3 % — для шликера с плотностью 2,5 г/см³. Введение упрочняющей добавки независимо от плотности шликера приводит к незначительному повышению динамической вязкости шликера и не зависит от ее количества.

Результаты исследований набора черепка и, соответственно, скорости набора черепка из шликера в зависимости от массовой доли диспергирующей добавки для шликеров с различной плотностью представлены на рис. 3.

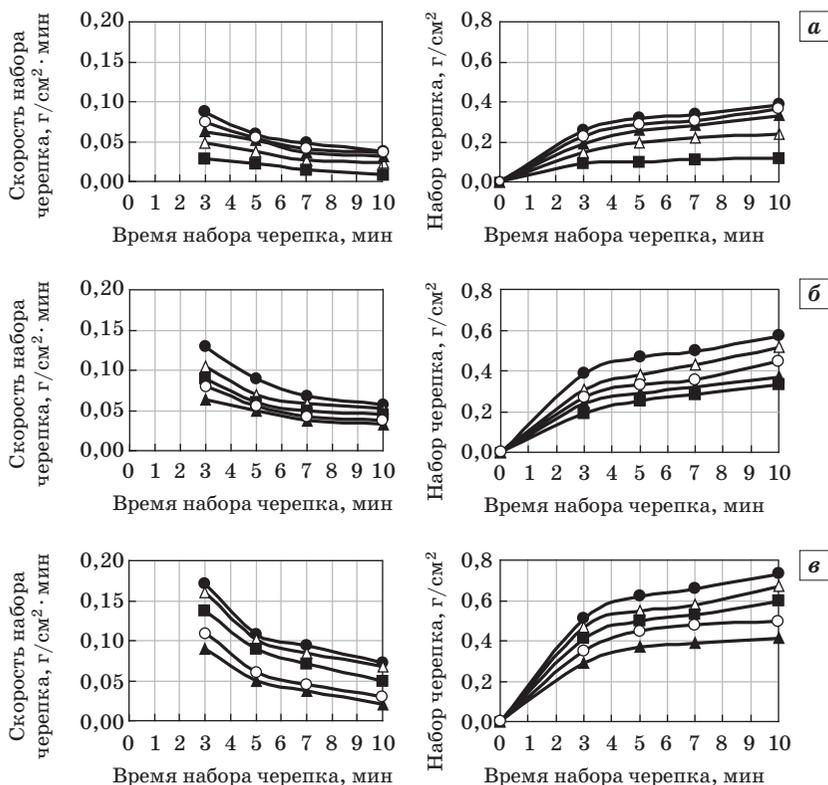


Рис. 3. Зависимость набора черепка и скорости набора черепка из шликера с плотностью 2,1 г/см³ (а), 2,3 г/см³ (б) и 2,5 г/см³ (в) от времени набора черепка, где: ● — без добавки; △ — 0,1 % диспергирующей добавки; ■ — 0,2 % диспергирующей добавки; ▲ — 0,3 % диспергирующей добавки; ○ — 0,4 % диспергирующей добавки

Из рис. 3 следует, что за первые три минуты исследования набор черепка и скорость набора черепка являются максимальными для всех шликеров независимо от их плотности и количества диспергирующей добавки. При увеличении времени набора черепка набор черепка увеличивается, но с меньшей скоростью. Данный факт можно объяснить тем, что в начальный момент соприкосновения шликера с сухой поверхностью гипсовой формы адсорбция жидкой фазы (воды) происходит наиболее интенсивно и скорость набора черепка в это время максимальна. По мере набора массы форма постепенно насыщается водой и ее адсорбционная способность уменьшается. Кроме того, набранный слой массы также оказывает сопротивление процессу водоотдачи шликера, вследствие чего скорость адсорбции и набора черепка постепенно снижается во времени. Для шликера без добавки характерна максимальная скорость набора черепка. Для шликера с плотностью 2,1 и 2,3 г/см³ с введением диспергирующей добавки величина скорости набора черепка уменьшается, достигая минимального значения при введении 0,2 % диспергирующей добавки, а затем увеличивается. Для шликера с плотностью 2,5 г/см³ с введением диспергирующей добавки величина скорости набора черепка также уменьшается, достигая минимального значения при введении 0,3 % диспергирующей добавки, а затем увеличивается. С увеличением плотности исследуемого шликера набор черепка и скорость набора увеличиваются, что связано с уменьшением количества жидкой фазы в суспензии. Таким образом, очевидно, что набор черепка и скорость набора находятся в прямой зависимости от плотности шликера, то есть для шликера с минимальной плотностью характерны минимальный набор черепка и скорость набора.

При проведении исследований набора черепка и скорости набора черепка из шликера с различной плотностью в зависимости от массовой доли упрочняющей добавки установлено, что указанная добавка не оказывает существенного влияния на набор черепка и скорость набора, так же как и на время истечения и относительную вязкость шликера, а полученные значения совпадают со значениями для шликера без введения добавки.

Результаты исследований влияния диспергирующей и упрочняющей добавок на основные характеристики образцов из корундовой керамики до и после обжига при температуре 1580 °С приведены в таблице, из которой видно, что введение диспергирующей и упрочняющей добавок в шликер несколько улучшают свойства отливок. При введении диспергирующей добавки ка-

жущаяся плотность отливок из шликера с плотностью $2,1 \text{ г/см}^3$ возрастает от $2,15$ до $2,33 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии — от $0,6$ до $1,2 \text{ Н/мм}^2$; кажущаяся плотность отливок из шликера с плотностью $2,3 \text{ г/см}^3$ возрастает от $2,20$ до $2,34 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии — от $0,8$ до $1,4 \text{ Н/мм}^2$; кажущаяся плотность отливок из шликера с плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$ возрастает от $2,22$ до $2,38 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии — от $0,9$ до $1,5 \text{ Н/мм}^2$. При введении упрочняющей добавки кажущаяся плотность отливок из шликера с плотностью $2,1 \text{ г/см}^3$ возрастает от $2,15$ до $2,28 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии — от $0,6$ до $2,1 \text{ Н/мм}^2$; кажущаяся плотность отливок из шликера с плотностью $2,3 \text{ г/см}^3$ возрастает от $2,20$ до $2,29 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии — от $0,8$ до $2,5 \text{ Н/мм}^2$; кажущаяся плотность отливок из шликера с плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$ возрастает от $2,22$ до $2,30 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии — от $0,9$ до $2,9 \text{ Н/мм}^2$. Образцы после обжига при температуре $1580 \text{ }^\circ\text{C}$ независимо от плотности шликера, вида и массовой доли добавки характеризуются открытой нулевой пористостью, что отвечает требованиям к изделиям высокоогнеупорным корундовым особоплотным.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что для шликеров с плотностью $2,1$ — $2,3 \text{ г/см}^3$ рациональным количеством диспергирующей добавки является $0,2 \%$, а для шликеров с плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$ — $0,3 \%$, что обеспечивает наилучшие реологические характеристики при сохранении высоких показателей свойств образцов до и после термообработки. Авторами [16] рекомендуется вводить диспергаторы в несколько большем количестве (в избытке) для лучшего распределения добавки в жидкой фазе суспензии. Поэтому в дальнейшем для шликерного литья изделий принятым количеством диспергирующей добавки было выбрано $0,3 \%$ для шликеров с плотностью $2,1$ — $2,3 \text{ г/см}^3$, $0,4 \%$ для шликеров с плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$ и $0,2 \%$ упрочняющей добавки для шликеров независимо от его плотности.

Результаты зависимости динамической вязкости шликера от его плотности при совместном введении диспергирующей добавки в количестве $0,3 \%$ и упрочняющей добавки в количестве $0,2 \%$ представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что с увеличением плотности шликера его динамическая вязкость возрастает. При увеличении плотности шликера от $2,1$ до $2,3 \text{ г/см}^3$ наблюдается постепенное увеличение динамической вязкости шликера, а в интервале плотности

Таблица

Основные характеристики образцов корундовой керамики

Вид добавки	Плотность шликера, г/см ³	Массовая доля добавки, %	Средние значения показателей свойств образцов, высушенных при 110°C до обжига		Средние значения показателей свойств образцов после обжига при 1580°C		
			Кажущаяся плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	Кажущаяся плотность, г/см ³	Пористость открытая, %	Изменение линейных размеров, %
—	2,1	—	2,15	0,6	3,88	0	-15,9
	2,3	—	2,20	0,8	3,90	0	-16,0
	2,5	—	2,22	0,9	3,90	0	-16,0
Диспергирующая	2,1	0,1	2,25	1,0	3,90	0	-15,6
		0,2	2,27	1,1	3,90	0	-15,7
		0,3	2,30	1,2	3,90	0	-15,7
		0,4	2,33	1,2	3,90	0	-15,8
	2,3	0,1	2,26	1,2	3,90	0	-15,8
		0,2	2,28	1,3	3,90	0	-15,8
		0,3	2,30	1,3	3,90	0	-15,9
		0,4	2,34	1,4	3,90	0	-16,0
	2,5	0,1	2,32	1,2	3,90	0	-15,9
		0,2	2,35	1,3	3,90	0	-16,0
		0,3	2,37	1,4	3,91	0	-16,1
		0,4	2,38	1,5	3,91	0	-16,3
Упрочняющая	2,1	0,1	2,20	1,7	3,91	0	-16,3
		0,2	2,22	2,0	3,91	0	-16,5
		0,3	2,24	2,0	3,91	0	-16,5
		0,4	2,28	2,1	3,91	0	-16,5
	2,3	0,1	2,22	2,2	3,91	0	-16,5
		0,2	2,24	2,5	3,92	0	-16,6
		0,3	2,27	2,5	3,92	0	-16,6
		0,4	2,29	2,5	3,92	0	-16,6
	2,5	0,1	2,23	2,7	3,92	0	-16,7
		0,2	2,25	2,8	3,93	0	-16,8
		0,3	2,27	2,8	3,93	0	-16,8
		0,4	2,30	2,9	3,93	0	-16,9

2,3—2,5 г/см³ увеличение динамической вязкости носит более выраженный характер. При совместном введении диспергирующей добавки в количестве 0,3 % и упрочняющей добавки в количестве 0,2 % независимо от плотности шликеров значения их динамической вязкости ниже, чем у шликеров без введения добавок и шликеров с введением одной из добавок (диспергирующей или упрочняющей добавки) (см. рис. 3).

Известно [14], что для отливки толстостенных изделий (стенка 4—5 мм и более) шликер должен быть густым и плотным, а для тонкостенных изделий (стенка до 1—2 мм) — более жидким, а также не должен обнаруживать признаков коагуляции и заметного оседания глинозема, то есть быть устойчивым. Поэтому для определения показателя устойчивости был приготовлен шликер с плотностью 2,1 г/см³ с совместным введением и диспергирующей добавки в количестве 0,3 %, и упрочняющей добавки в количестве 0,2 % (для заливки тонкостенных изделий сливным способом), а также шликер с плотностью 2,5 г/см³ только с диспергирующей добавкой в количестве 0,4 % (для заливки толстостенных изделий наливным способом). В результате исследований установлено, что показатель устойчивости составил 250 и 125, что значительно выше, чем для шликера без введения добавок (для шликера с плотностью 2,1 г/см³ показатель устойчивости равен 10, а для шликера с плотностью 2,5 г/см³ — 62,5). Данный факт свидетельствует о том, что введение добавок в оптимальном количестве обеспечивает, помимо хороших реологических характеристик, стабильность и устойчивость шликера, что имеет большое значение в технологии шликерного литья изделий корундовой керамики в гипсовую форму.

На основании проведенных исследований установлено, что для отливки тонкостенных изделий рационально использовать шликер с плотностью 2,1 г/см³ с диспергирующей добавкой в количестве 0,3 % и упрочняющей добавкой в количестве 0,2 %,

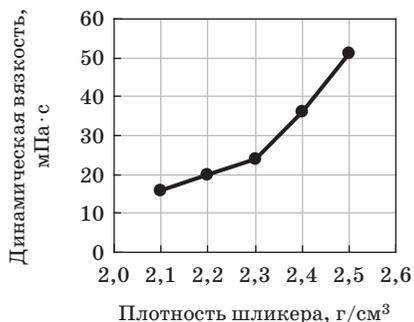


Рис. 4. Зависимость динамической вязкости шликера от его плотности при совместном введении диспергирующей добавки в количестве 0,3 % и упрочняющей добавки в количестве 0,2 %

а для отливки толстостенных изделий — шликер с плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$ с диспергирующей добавкой в количестве $0,4 \%$.

Заключение

На основании проведенных исследований реологических свойств глиноземистых шликеров установлено, что введение диспергирующей добавки в количестве $0,2 \%$ для шликера с плотностью $2,1$ и $2,3 \text{ г/см}^3$ и $0,3 \%$ — для шликера с плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$ снижает время истечения, относительную и динамическую вязкость шликера, набор и скорость набора черепка до минимального значения, повышает устойчивость шликера и улучшает свойства отливок.

Упрочняющая добавка не оказывает существенного влияния на время истечения, относительную и динамическую вязкость шликера, набор и скорость набора черепка, однако, значительно повышает устойчивость шликера и прочностные характеристики сырца, что особенно имеет значение при заливке тонкостенных изделий.

Установлено, что для отливки тонкостенных изделий (стенка до $1\text{—}2 \text{ мм}$) необходимо использовать шликер с плотностью $2,1 \text{ г/см}^3$ с диспергирующей добавкой в количестве $0,3 \%$ и упрочняющей добавкой в количестве $0,2 \%$, а для отливки толстостенных изделий (стенка $4\text{—}5 \text{ мм}$ и более) — шликер с плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$ с диспергирующей добавкой в количестве $0,4 \%$.

Показано, что образцы после обжига при температуре $1580 \text{ }^\circ\text{C}$ независимо от плотности шликера, вида и массовой доли добавки характеризуются нулевой открытой пористостью и отвечают требованиям к изделиям высокоогнеупорным корундовым особоплотным.

Библиографический список

1. *Кайнарский И. С.* Корундовые огнеупоры и керамика / И. С. Кайнарский, Э. В. Дегтярева, И. Г. Орлова. — М. : Металлургия, 1981. — 267 с.

2. *Кайнарский И. С.* Процессы технологии огнеупоров / И. С. Кайнарский. — М. : Металлургия, 1969. — 352 с.

3. Процессы керамического производства: [сб. науч. тр. / ред. Кингери У. Д. ; пер. А. М. Черепанова под ред. П. П. Будникова]. — М. : Изд-во иностранной литературы, 1960. — 280 с.

4. *Добровольский А. Г.* Шликерное литье / А. Г. Добровольский. — М. : Металлургия, 1977. — 240 с.

5. Балкевич В. Л. Техническая керамика / В. Л. Балкевич. — М. : Стройиздат, 1984. — 256 с.

6. Daksobler A. Weakly flocculated aqueous alumina suspensions prepared by the addition of Mg(II) ions / A. Daksobler, T. Kosmac // J. Am. Ceram. Soc. — 2000. — Vol. 83, № 3. — P. 666—668.

7. Светличный Е. А. Исследование влияния дефлокулянтов на основе полимеров карбоновых кислот на свойства глиноземного шликера, отливки и образцов корундовой керамики / Е. А. Светличный, Е. А. Денисенко // 36. наук. пр. ВАТ «УкрНДІВ ім. А. С. Бережного». — Х. : Каравела, 2008. — № 108. — С. 105—115.

8. Refractories with improved thermal shock performance serving low carbon economy / [Christos G. Aneziris, V. Roungos, Steffen Dudczig, M. Emmel] // The 6-th Int. Symp. on Refractories, Zhengzhou, China, 18—21 oct. 2012: proc. — Zhengzhou, 2012. — P. 14—18.

9. Исследование влияния новых диспергирующей и упрочняющей добавок на реологические и литьевые свойства глиноземистых шликеров и образцов корундовой керамики / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, П. П. Криворучко [и др.] // Технология и применение огнеупоров и техн. керамики в пром-сти : междунар. науч.-техн. конф., 28—29 апр. 2015 г. : тез. докл. — Х. : Оригинал, 2015. — С. 18—19.

10. Влияние вида глинозема на свойства шликеров и образцов особоплотной корундовой керамики / В. В. Мартыненко, В. В. Примаченко, П. П. Криворучко [и др.] // 36. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО». — Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2015. — № 115. — С. 46—55.

11. Глинозем марки MARTOXID MR 70: каталог компании «MARTINSWERK GmbH» корпорации «ALBEMARLE» (Германия) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.martinswerk.com/allproducts_e.aspx.

12. DISPEX A40. Диспергатор для неорганических пигментов и наполнителей в водной среде: каталог компании «BASF Construction Polymers GmbH» (Германия) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://familyhome.by/dispergiruyuschie_agenty_basf/185/back.html.

13. ОПТАРІХ А170. Присадка для шликерного литья / Временно действующее связующее средство: каталог компании «ZSCHIMMER & SCHWARZ GmbH & Co KG CHEMISCHE FABRIKEN» (Германия) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.zschimmer-schwarz.com/ОПТАРІХ_АС_170/simon/zschimmer-schwarz/media/site/downloads/merkblatt/1_K_K_RUS_3846_30_2_800.pdf.

14. Лукин Е. С. Технический анализ и контроль производства керамики / Е. С. Лукин, Н. Т. Андрианов. — М. : Стройиздат, 1986. — 272 с.

15. Практикум по технологии керамики и огнеупоров / [Бакунов В. С., Балкевич В. Л., Гузман И. Я. и др.]. — М. : Стройиздат, 1972. — 352 с.

16. King A. G. Slip Preparation Procedures [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://5.190.236.10/userfiles/file/Ceramic%20Technology%20&%20Processing-slip%20preparation%20procedures.pdf>.

Рецензент канд. техн. наук Дуников А. В.