

*Д-р техн. наук В. В. Примаченко,
канд. техн. наук К. И. Куценко, канд. техн. наук Ю. А. Крахмаль,
канд. техн. наук Ю. Е. Мишнева
(АО «УкрНИИО имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина)*

Исследование реологических и питьевых свойств глиноземистых шликеров и образцов из них, содержащих новую диспергирующую добавку и ее комбинации с упрочняющей добавкой

Введение

В АО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» разработана и внедрена технология корундовой керамики [1—4], предусматривающая изготовление высокоогнеупорных корундовых особоплотных изделий различными методами формования, среди которых значительное место занимает шликерное литье в гипсовую форму. Преимуществом данного метода является простота оборудования, относительно невысокая стоимость форм и оснастки, а также возможность изготовления изделий, разнообразных по форме, размерам и массе [1, 5, 6].

В зависимости от толщины стенки и конфигурации изделия применяют два способа шликерного литья: наливной, в том числе на металлический стержень, которым отливают изделия сложной конфигурации, изоляторы, стержни, пластины, ступки и пестики, а также изделия с толщиной стенки 4—5 мм и более, для чего в работе [7] рекомендуют использовать глиноземистый шликер с плотностью 2,5 г/см³ из глинозема марки MARTOXID с диспергирующей добавкой (на основе водного раствора аммониевой соли акрилового сополимера) и сливной способ, которым отливают полые изделия в виде тиглей, чехлов, труб, кювет, лодочек и т. п. с толщиной стенки 1—3 мм, для чего рекомендуют использовать глиноземистый шликер с плотностью 2,1 г/см³ из глинозема марки MARTOXID с той же диспергирующей добавкой (на основе водного раствора аммониевой соли акрилового сополимера), но в комбинации с упрочняющей добавкой (водно-дисперсного полимера) [7].

Компания «ZSCHIMMER & SCHWARZ GMBH & CO KG CHEMISCHE FABRIKEN» (Германия) предлагает к использованию

новую диспергирующую добавку на основе карбоновой кислоты [8].

С целью совершенствования технологии корундовой керамики методом шликерного литья в гипсовую форму проведение исследований возможности использования новой диспергирующей добавки является актуальным.

Экспериментальная часть

Для проведения исследований в качестве основного сырьевого компонента использовали глинозем марки MARTOXID (компании «MARTINSWERK GmbH» корпорации «ALBEMARLE», Германия) с удельной поверхностью 6—10 м²/г [9]. Насыпную плотность глинозема марки MARTOXID определяли по ГОСТ 27801—93, которая составила 900 кг/м³. Химический состав глинозема марки MARTOXID определяли спектральным методом по ГОСТ 23201.0—78 — ГОСТ 23201.2—78, результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав глинозема

Марка глинозема	Массовая доля, %					
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Δm _{прк}
MARTOXID	99,62	0,06	0,02	0,06	0,06	0,18

Фазовый состав и структуру глинозема марки MARTOXID определяли петрографическим с применением микроскопа МИН-8 и электронномикроскопическим с использованием электронного микроскопа просвечивающего типа ЭМВ-100 А методами анализа. По данным петрографических исследований, глинозем марки MARTOXID состоит из бесцветных слабоанизотропных мелкодисперсных частиц с показателем преломления, характерным для α-Al₂O₃. Электронномикроскопическими исследованиями глинозема марки MARTOXID установлено, что он представлен отдельными слабо контактирующими между собой зернами α-Al₂O₃ разнообразной морфологии и дисперсности, с преимущественным размером частиц ~ 0,2—1,5 мкм.

В качестве диспергирующей добавки использовали диспергатор на основе карбоновой кислоты, а в качестве упрочняющей добавки — водный дисперсный полимер (компании «ZSCHIMMER & SCHWARZ GMBH & CO KG CHEMISCHE FABRIKEN», Германия). Диспергирующая добавка представляет собой жидкость

желтого цвета с рН=7 и плотностью 1,20 г/см³. Рекомендуемое компанией-изготовителем для приготовления шликера количество диспергатора колеблется от 0,1 до 0,5 %. Упрочняющая добавка представляет собой жидкость белого цвета с рН=7, вязкостью при 20 °С — 20 МПа·с и плотностью 1,07 г/см³. Для повышения прочности сырца компанией-изготовителем рекомендуется варьировать количество добавки в пределах от 0,05 до 0,40 %.

Для проведения исследований готовили шликеры плотностью 2,5 г/см³, влажностью ~ 20 % (для изготовления толсто-стенных изделий наливным способом) и 2,1 г/см³, влажностью ~ 30 % (для изготовления тонкостенных изделий сливным способом) путем добавления к дистиллированной воде глинозема. Плотность шликеров (г/см³) определяли по ГОСТ 18995.1—73 с использованием денсиметров. Добавки вводили в воду в заданном количестве (из расчета на сухое вещество). Готовый шликер тщательно перемешивали с последующим процеживанием через сито № 009.

Динамическую вязкость шликера определяли с помощью цифрового вискозиметра Брукфильда LVDV-II+Pro при скорости вращения шпинделя 100 об/мин.

Скорость набора черепка и набор черепка определяли методом тигельков [10], для чего 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, определяли массу набранного черепка и рассчитывали скорость набора и набор черепка.

Для определения устойчивости (стабильности) шликера [10] в стеклянный мерный цилиндр объемом 250 мл заливали исследуемый шликер и выдерживали до 7 суток. По окончании хранения отмечали визуально объем отделившейся жидкой фазы суспензии. В работе [11] показатель устойчивости шликеров ре-

комендуется определять по формуле: $U = \frac{V_{\text{мл}}}{V_c}$, где $V_{\text{мл}}$ — объем исследуемого шликера, см³; V_c — объем отделившейся жидкой фазы, см³. Нами же в данной работе показатель (коэффициент) устойчивости шликеров определялся по формуле: $U = \frac{V_{\text{мл}} - V_c}{V_{\text{мл}}}$.

Для проведения исследований влияния количества диспергирующей добавки и ее комбинации с упрочняющей добавкой на свойства образцов до и после обжига при температуре 1580 °С изготавливали образцы методом шликерного литья в гипсовую форму в виде цилиндров диаметром и высотой 36 мм. Извлеченные из гипсовых форм образцы устанавливали на лотки, покрытые фильтровальной бумагой. Образцы сушили при комнатной температуре (18—20 °С) в течение 1—2 суток, затем при температуре 110 °С — до постоянного веса и обжигали в закрытых капсулах на подсыпке из электроплавленного корунда фракции < 0,5 мм в камерной печи периодического действия опытного производства АО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» при температуре 1580 °С с выдержкой при конечной температуре 8 ч.

Кажущуюся плотность высушенного при 110 °С сырца определяли по их размерам и массе, 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

Глиноземистый шликер из тонкодисперсного материала представляет собой суспензию, состоящую из твердой и жидкой фаз, которой присуща тиксотропия, то есть разжижение при механическом перемешивании и обратный переход в структурированное состояние при покое. Результаты определения динамической вязкости шликеров из глинозема марки MARTOXID с плотностью 2,5 и 2,1 г/см³ в зависимости от массовой доли диспергирующей добавки представлены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что введение диспергирующей добавки в шликеры из глинозема марки MARTOXID, независимо от их плотности, приводит сначала к снижению их динамической вязкости, при этом минимальное значение вязкости для шликера из глинозема марки MARTOXID с плотностью 2,5 г/см³ (480 МПа·с) отмечается при введении 0,3 % новой диспергирующей добавки, а для шликера с плотностью 2,1 г/см³ (60 МПа·с) — при введении 0,2 % новой диспергирующей добавки. Дальнейшее увеличение массовой доли диспергирующей добавки (до 1,0 %) в шликерах, независимо от их плотности, приводит к увеличению динамической вязкости шликеров.

Следует отметить, что, по данным работы [7], динамическая вязкость аналогичных шликеров, но с использованием в качестве разжижающей добавки водного раствора аммониевой соли акрилового сополимера в тех же количествах, является более низкой и составляет для шликеров с плотностью 2,5 и 2,1 г/см³ соответственно 420 и 18 МПа·с, т. е. новая диспергирующая добавка обладает несколько худшими разжижающими свойствами.

Исследования зависимости скорости набора черепка и набора черепка (рис. 2) из шликеров с плотностью 2,5 и 2,1 г/см³, приготовленных из глинозема марки MARTOXID, в зависимости от времени набора черепка и массовой доли диспергирующей добавки показали, что введение диспергирующей добавки в шликеры, независимо от их плотности, сначала снижает скорость набора и набор черепка, а затем увеличивает их.

Минимальное значение скорости набора черепка для шликера из глинозема марки MARTOXID с плотностью 2,5 г/см³ отмечается при введении 0,3 % диспергирующей добавки, а для шликера с плотностью 2,1 г/см³ — при введении 0,2 % диспергирующей добавки. Дальнейшее увеличение массовой доли диспергирующей добавки (до 1,0 %) в шликерах, независимо от их плотности, приводит к увеличению скорости набора и набора черепка.

Таким образом, очевидно, что скорость набора и набор черепка находятся в прямой зависимости от плотности шликера, то есть чем больше значение плотности шликера (меньше количество жидкой фазы), тем соответственно значения скорости набора черепка и набора черепка больше.

Следует также отметить, что скорость водоотдачи в гипсовую форму, независимо от состава и плотности шликера, не остается постоянной во времени и в первые 3 мин исследований эта величина является максимальной. С продолжением времени

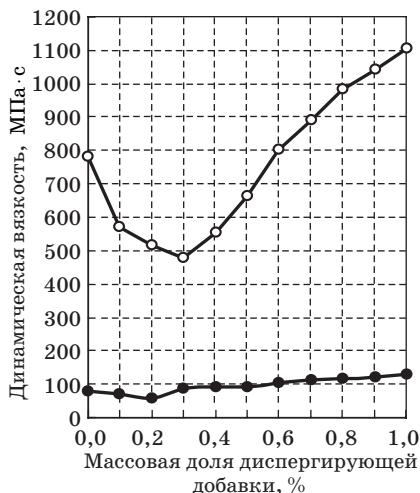


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости шликера из глинозема марки MARTOXID от массовой доли диспергирующей добавки при различных значениях плотности шликера, где: ○ — плотность шликера 2,5 г/см³; ● — плотность шликера 2,1 г/см³

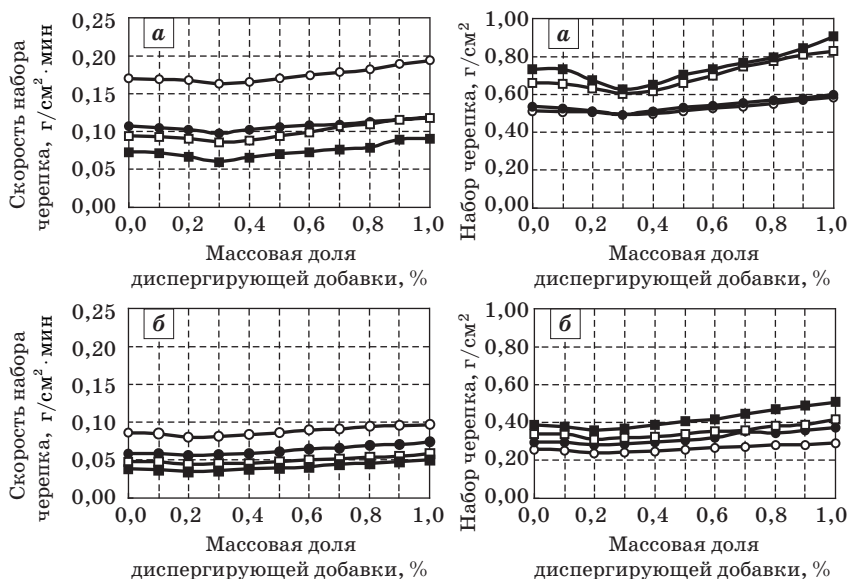


Рис. 2. Зависимость скорости набора и набора черепка шликеров из глинозема марки MARTOXID с плотностью 2,5 г/см³ (а) и 2,1 г/см³ (б) от массовой доли диспергирующей добавки, где время набора массы:

○ — 3 мин; ● — 5 мин; □ — 7 мин; ■ — 10 мин

исследований наблюдается замедление скорости водоотдачи, что связано с уменьшением адсорбционной способности гипсовой формы и последовательным увеличением гидравлического сопротивления набираемого слоя черепка, которое пропорционально толщине уже набранного слоя.

Таким образом, в результате проведенных исследований влияния диспергирующей добавки на реологические свойства шликеров из глинозема марки MARTOXID установлено, что минимальные значения динамической вязкости, скорости набора и набора черепка достигаются при введении 0,3 и 0,2 % диспергирующей добавки в шликеры с плотностью 2,5 и 2,1 г/см³ соответственно, поэтому указанные количества были приняты как оптимальные в дальнейших исследованиях.

Помимо основных реологических свойств, а именно хорошей текучести и невысокой вязкости, литейный шликер должен сохранять седиментационную устойчивость. В связи с тем, что метод шликерного литья изделий из корундовой керамики сливным способом предполагает после набора необходимой толщины стенки изделия на поверхность гипсовой формы сливание

остатка шликера и хранение его в герметичной емкости до следующей заливки изделий, проведение исследований по определению показателя устойчивости шликеров из глинозема марки MARTOXID с оптимальным количеством диспергирующей добавки является целесообразным. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициент устойчивости шликеров с оптимальным количеством диспергирующей добавки из глинозема марки MARTOXID в зависимости от плотности шликера

Плотность шликера, г/см ³	Значение коэффициента устойчивости по истечению времени хранения в течение		
	1 суток	5 суток	10 суток
2,5	0,992	0,992	0,992
2,1	0,992	0,880	0,880

Из табл. 2 следует, что шликеры из глинозема марки MARTOXID с оптимальным количеством диспергирующей добавки, независимо от плотности шликера, в первые сутки хранения характеризуются высоким показателем устойчивости. Шликер с плотностью 2,5 г/см³ сохраняет устойчивость после хранения в течение 10 суток, а для шликера с плотностью 2,1 г/см³ показатель устойчивости снижается.

Данный факт свидетельствует о том, что введение добавок в оптимальном количестве обеспечивает, помимо хороших литевых характеристик, стабильность и устойчивость шликера, что имеет большое значение в технологии шликерного литья в гипсовую форму. Очевидно, что с увеличением плотности шликера, а следовательно, снижением количества жидкой фазы в суспензии, значение показателя устойчивости увеличивается, то есть, чем меньше жидкой фазы в суспензии, тем меньше расслоение шликера на жидкую и твердую фазы.

Результаты определения свойств образцов корундовой керамики до и после обжига при температуре 1580 °С, изготовленных методом шликерного литья в гипсовую форму из глинозема марки MARTOXID с оптимальным количеством новой диспергирующей добавки, приведены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что образцы корундовой керамики из глинозема марки MARTOXID с оптимальным количеством новой диспергирующей добавки удовлетворяют требованиям ТУ У 23.2-00190503-431:2017 для изделий марки КОП (открытая пористость не более 0,8 %). Это дает возможность использования

Таблица 3

Свойства образцов корундовой керамики с оптимальным количеством диспергирующей добавки до и после обжига при температуре 1580 °С

Плотность шликера, г/см ³	Средние значения показателей свойств высушенных образцов		Средние значения показателей свойств образцов после обжига при 1580 °С		
	кажущаяся плотность, г/см ³	предел прочности при сжатии, Н/мм ²	кажущаяся плотность, г/см ³	открытая пористость, %	изменение линейных размеров в обжиге (усадка), %
2,5	1,90	1,3	3,91	0,1	-17,6
2,1	1,84	1,1	3,90	0,2	-17,2

новой диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты в оптимальном количестве в технологии корундовой керамики методом шликерного литья в гипсовую форму. Однако следует отметить, что, по данным [7], из глинозема марки MARTOXID из шликеров плотностью 2,1 и 2,5 г/см³, но с использованием в качестве диспергирующей добавки водного раствора аммонийной соли акрилового сополимера, возможно получение высушенного сырца с более высокой кажущейся плотностью (2,27 и 2,35 г/см³ соответственно), чем с новой добавкой на основе карбоновой кислоты (1,84 и 1,92 г/см³ соответственно), а увеличение кажущейся плотности сырца является положительным технологическим фактором, способствующим, прежде всего, уменьшению усадки изделий при обжиге.

Результаты исследования влияния комбинации диспергирующей добавки (0,2 %) на основе карбоновой кислоты с упрочняющей добавкой (водный дисперсный полимер), применяемой для литья тонкостенных изделий сливным способом из шликера с плотностью 2,1 г/см³, на динамическую вязкость шликера приведены на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что введение упрочняющей добавки в количестве до 0,1—0,2 % в шликер из глинозема марки MARTOXID, содержащий 0,2 % диспергирующей добавки, несколько снижает его динамическую вязкость с 60 до 50 МПа·с, а дальнейшее увеличение указанной добавки в шликере до 0,2—0,3 % приводит к незначительному увеличению его динамической вязкости до 53 МПа·с, а это свидетельствует о начале образования коагуляционно-конденсационной структуры. Это показано в [14].

Результаты исследования влияния количества упрочняющей добавки, введенной в шликер из глинозема марки MARTOXID,

содержащий 0,2 % диспергирующей добавки, на скорость набора и набор черепка приведены на рис. 4, из которого следует, что упрочняющая добавка практически не оказывает влияния как на скорость набора черепка, так и на набор черепка.

Результаты исследования влияния количества упрочняющей добавки, введенной в шликер с плотностью 2,1 г/см³ из глинозема марки MARTOXID, содержащий 0,2 % диспергирующей добавки, на свойства образцов корундовой керамики до и после обжига при температуре 1580 °С приведены в табл. 4.

Из табл. 4 следует, что введение упрочняющей добавки в шликер из глинозема марки MARTOXID, содержащий 0,2 % диспергирующей добавки, повышает кажущуюся плотность сырца от 1,84 до 2,30 г/см³ и его предел прочности при сжатии от 1,1 до 2,3 Н/мм². Дальнейшее увеличение массовой

Рис. 4. Зависимость скорости набора и набора черепка шликера плотностью 2,1 г/см³ из глинозема марки MARTOXID, содержащего 0,2 % диспергирующей добавки, от массовой доли упрочняющей добавки, где время набора черепка:

- — 3 мин; ● — 5 мин;
- — 7 мин; ■ — 10 мин

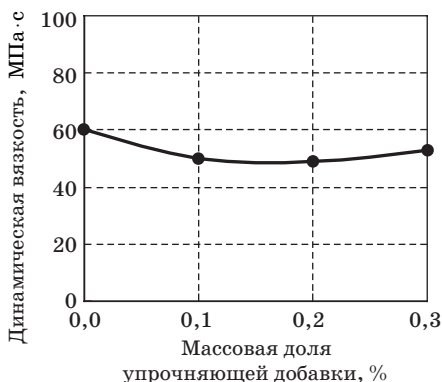
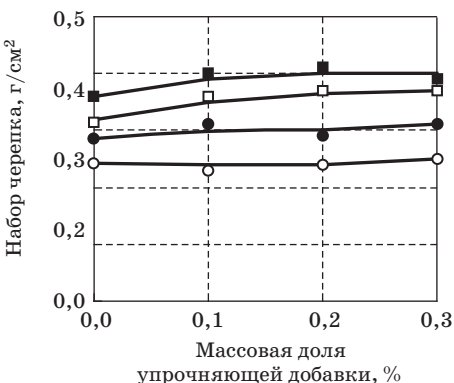
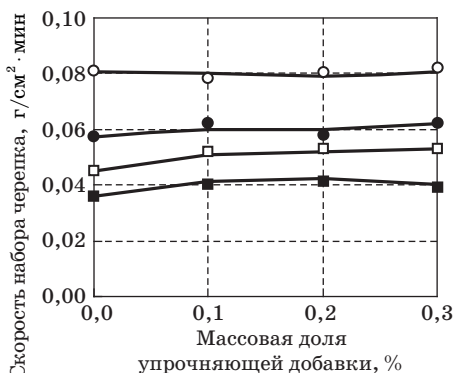


Рис. 3. Зависимость динамической вязкости шликера с плотностью 2,1 г/см³ из глинозема марки MARTOXID, содержащего 0,2 % диспергирующей добавки, от массовой доли упрочняющей добавки



Зависимость свойств образцов корундовой керамики из шликера плотностью 2,1 г/см³, содержащего 0,2 % диспергирующей добавки, от количества упрочняющей добавки до и после обжига при температуре 1580 °С

Массовая доля упрочняющей добавки, %	Средние значения показателей свойств образцов до обжига		Средние значения показателей свойств образцов после обжига при 1580 °С	
	кажущаяся плотность, г/см ³	предел прочности при сжатии, Н/мм ²	кажущаяся плотность, г/см ³	открытая пористость, %
—	1,84	1,1	3,90	0,2
0,1	2,26	2,0	3,90	0,2
0,2	2,30	2,3	3,91	0,1
0,3	2,30	2,3	3,91	0,1

доли упрочняющей добавки (до 0,3 %) не оказывает влияния на показатели свойств образцов корундовой керамики, а после обжига при температуре 1580 °С образцы характеризуются открытой пористостью, отвечающей требованиям к изделиям высокоогнеупорным корундовым особоплотным (не более 0,8 %).

Таким образом, в результате проведенных исследований влияния количества (0,1; 0,2 и 0,3 %) упрочняющей добавки на реологические и литевые характеристики шликера плотностью 2,1 г/см³ из глинозема марки MARTOXID, содержащего 0,2 % диспергирующей добавки, установлено, что минимальные значения динамической вязкости достигаются при введении 0,2 % упрочняющей добавки, а на скорость набора и набор черепка вышеуказанная добавка практически влияния не оказывает. Введение 0,2 % упрочняющей добавки также увеличивает в ~1,2 и в ~2 раза кажущуюся плотность и предел прочности при сжатии сырца соответственно, а после обжига при температуре 1580 °С открытая пористость образцов не превышает 0,1 %, что отвечает требованиям к изделиям высокоогнеупорным корундовым особоплотным марки КОП, поэтому указанное количество упрочняющей добавки было принято как оптимальное в дальнейших исследованиях.

Исследования динамической вязкости шликера плотностью 2,1 г/см³ для изготовления тонкостенных изделий сливным способом из глинозема марки MARTOXID, содержащего 0,2 % диспергирующей добавки и 0,2 % упрочняющей добавки, от времени его хранения в герметичной емкости в течение 7 суток проводили в сопоставлении со шликером плотностью 2,5 г/см³ для изготовления толстостенных изделий наливным способом из глинозема марки MARTOXID, содержащим 0,3 % дисперги-

рующей добавки. Результаты исследований приведены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что динамическая вязкость шликеров из глинозема марки MARTOXID, независимо от их состава и плотности, снижается после их хранения в герметичной емкости в течение 24 ч, а с увеличением времени хранения до 168 ч практически не изменяется. Так, динамическая вязкость шликеров из глинозема марки MARTOXID после хранения в герметичной емкости в течение 24 ч снижается с 68 до 50 МПа·с для шликера, содержащего 0,2 % диспергирующей добавки и 0,2 % упрочняющей добавки, плотностью 2,1 г/см³ и с 650 до 480 МПа·с — для шликера, содержащего 0,3 % диспергирующей добавки, плотностью 2,5 г/см³. Такую зависимость реологических свойств шликеров из глинозема марки MARTOXID MR 70 от времени их хранения можно объяснить электронномикроскопическими исследованиями, проведенными в работах [11, 12], в результате которых установлено, что при взаимодействии глинозема марки MARTOXID с водой его частицы агрегируют и уплотняются, образуя рыхлые агрегаты, и только через 24 ч после его затворения водой происходит разрушение агрегатов на отдельные частицы.

Результаты определения коэффициента устойчивости шликеров из глинозема марки MARTOXID, содержащего 0,2 % диспергирующей добавки и 0,2 % упрочняющей добавки,

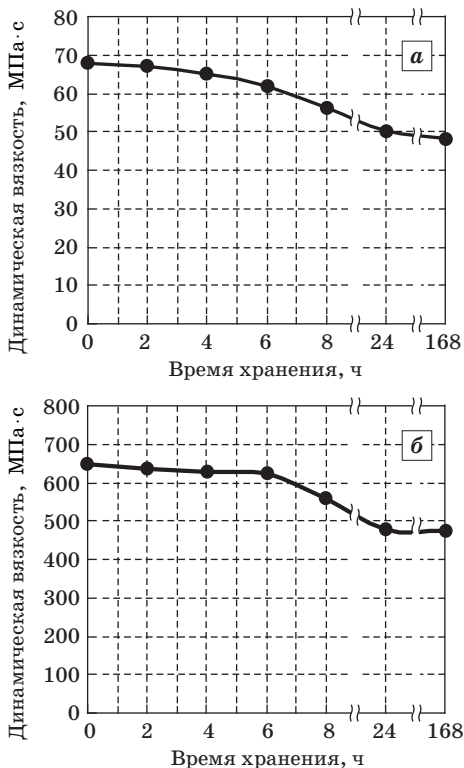


Рис. 5. Зависимость динамической вязкости шликера плотностью 2,1 г/см³ из глинозема марки MARTOXID, содержащего 0,2 % диспергирующей добавки и 0,2 % упрочняющей добавки (а), и шликера плотностью 2,5 г/см³, содержащего 0,3 % диспергирующей добавки (б), от времени их хранения в герметичной емкости

плотностью 2,1 г/см³ и 0,3 % упрочняющей добавки, плотностью 2,5 г/см³, приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Коэффициент устойчивости шликеров из глинозема марки MARTOXID
в зависимости от состава и плотности шликера**

Плотность шликера, г/см ³	Значение коэффициента устойчивости по истечению времени хранения в течение				
	1 суток	5 суток	7 суток	10 суток	30 суток
2,1	0,996	0,996	0,996	0,996	0,990
2,5	0,990	0,990	0,990	0,990	0,980

Из табл. 5 следует, что на протяжении всего времени хранения в герметичной емкости шликеры из глинозема марки MARTOXID, независимо от плотности, характеризуются достаточно высоким коэффициентом устойчивости, а с увеличением времени хранения (до 30 суток) коэффициент устойчивости изменяется незначительно. Коэффициент устойчивости шликера плотностью 2,1 г/см³, содержащего 0,2 % новой диспергирующей добавки и 0,2 % упрочняющей добавки, даже при его низкой плотности, несколько выше, чем шликера плотностью 2,5 г/см³, содержащего только 0,3 % диспергирующей добавки, за счет наличия упрочняющей добавки в его составе. Проведенными в работах [13, 14] электронномикроскопическими исследованиями показано, что наличие упрочняющей добавки в шликере приводит к образованию гелевидного вещества, которое располагается в шликере в виде бесструктурных образований, обволакивающих частички глинозема, что препятствует его оседанию.

После определения коэффициента устойчивости оба шликера повторно механически перемешали и определили коэффициент устойчивости. В результате установлено, что по истечению 1 суток объем отделившейся жидкой фазы, а следовательно, и коэффициент устойчивости, соответствовали аналогичным значениям до механического перемешивания. Данный факт свидетельствует о том, что введение добавок в оптимальном количестве обеспечивает, помимо хороших реологических и литевых характеристик, стабильность и устойчивость шликера, что имеет большое значение в технологии шликерного литья изделий корундовой керамики в гипсовую форму.

Заключение

Выполнены исследования реологических свойств глиноземистых шликеров из глинозема марки MARTOXID, содержащих

новую диспергирующую добавку на основе карбоновой кислоты и ее комбинацию с упрочняющей добавкой.

Установлено, что оптимальные значения реологических и литевых свойств шликеров, обеспечивающие получение отливок с максимальной плотностью, достигаются при введении 0,3 и 0,2 % диспергирующей добавки в шликеры с плотностью 2,5 и 2,1 г/см³ соответственно.

Установлено, что, хотя при использовании диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты плотность сырца корундовой керамики получается более низкой, чем с диспергирующей добавкой водного раствора аммониевой соли акрилового сополимера, однако она является достаточной для получения таких же высококачественных обожженных при 1580 °С изделий (открытая пористость не > 0,8 %) при несколько более высокой их усадке в обжиге, то есть применение указанной добавки, в случае необходимости, возможно.

Библиографический список

1. Кайнарский И. С., Дегтярева Э. В., Орлова И. Г. Корундовые огнеупоры и керамика. М. : Металлургия, 1981. 267 с.
2. Корундовые огнеупоры и керамика / П. П. Криворучко и др. *Научные исследования по технологии и службе огнеупоров. К 70-летию Украинского научно-исследовательского института огнеупоров*. Х. : Каравелла, 1997. С. 167—185.
3. Криворучко П. П., Пьяных Н. Л., Гирич Н. А. Разработка и производство корундовой керамики. *Передовая керамика — третьему тысячелетию*: тез. докл. междунар. науч. конф., г. Киев, 5—9 нояб. 2001 г. К. : Украина, 2001. С. 149.
4. Криворучко П. П., Пьяных Н. Л., Денисенко Е. А., Светличный Е. А. Корундовая керамика, разработанная и изготавливаемая ОАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного». *Металлургическая и горнорудная пром-сть*. 2006. № 2. С. 65—69.
5. Кайнарский И. С. Процессы технологии огнеупоров. М. : Металлургия, 1969. 352 с.
6. Добровольский А. Г. Шликерное литье. М. : Металлургия, 1977. 240 с.
7. Исследование реологических свойств глиноземистых шликеров, содержащих новые диспергирующую и упрочняющую добавки / В. В. Мартыненко и др. *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2016. № 116. С. 98—109.
8. Каталог компании «ZSCHIMMER & SCHWARZ GMBH & CO KG CHEMISCHE FABRIKEN». URL: <https://www.zschimmer-schwarz.com/en/ceramic-auxiliaries/sanitary-ware/raw-material-preparation/dispersants/?returnUrl=https%3A%2F%2Fwww.zschimmer-schwarz.com%2Fen%2Fceramic-auxiliaries%2Fsanitary-ware%2Fraw-material-preparation%2Fdispersants%2Fproducts%2FDOLAPIX%2520PC%2520187%2F138363%2F&cHash=74eb203a068e1acd675ff59f617c250f>. (дата обращения 05.11.2018).
9. Каталог компании «MARTINSWERK GmbH». URL: <https://www.martinswerk.de/startseite/> (дата обращения 05.11.2018).
10. Лукин Е. С., Андрианов Н. Т. Технический анализ и контроль производства керамики. М. : Стройиздат, 1986. 272 с.

11. Исследования влияния новых диспергирующей и упрочняющей добавок на реологические и литьевые свойства глиноземных шликеров и образцов корундовой керамики / В. В. Примаченко и др. *Технология и применение огнеупоров и техн. керамики в пром-сти* : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., г. Харьков, 28—29 апр. 2015 г. Х. : Оригинал, 2015. С. 17—18.

12. Влияние вида глинозема на свойства шликеров и образцов особоплотной корундовой керамики / В. В. Мартыненко и др. *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО», 2015. № 115. С. 46—55.

13. Влияние времени выдержки глиноземистых шликеров с диспергирующей и упрочняющей добавками на их реологические свойства и свойства образцов корундовой керамики / К. И. Куценко и др. *Технология и применение огнеупоров и техн. керамики в пром-сти* : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., г. Харьков, 25—26 апр. 2017 г. Х. : Вид. Рожко С. Г., 2017. С. 20—21.

14. Исследование влияния времени выдержки на реологические свойства глиноземистых шликеров с диспергирующей и упрочняющей добавками и свойства изготовленных из них образцов корундовой керамики / В. В. Мартыненко и др. *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2017. № 117. С. 138—148.

References (transliterated):

1. Kaynarskiy I. S., Degtyareva E. V., Orlova I. G. *Korundovyye ogneupory i keramika* [Corundum refractories and ceramics]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1981. 267 p. (in Russian).

2. Krivoruchko P. P., P'yanykh N. L., Kabakova I. I., Girich N. A., Baranik Yu. P., Rabinkov L. G., Denisenko Ye. A. *Korundovyye ogneupory i keramika* [Corundum refractories and ceramics]. *Nauchnyye issledovaniya po tekhnologii i sluzhbe ogneuporov. K 70-letiyu Ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ogneuporov*. [Scientific research on technology and service refractories. To the 70th anniversary of the Ukrainian Research Institute of Refractories]. Kharkov, Karavella Publ., 1997, pp. 167—185. (in Russian).

3. Krivoruchko P. P., P'yanykh N. L., Girich N. A. *Razrabotka i proizvodstvo korundovoy keramiki* [Development and production of corundum ceramics]. *Pere dovaya keramika — tret'yemu tysyacheletiy. Tez. dokl. mezhdunar. nauch. konf.*, Kiyev, 5—9 noyabrya 2001 [Advanced ceramics — the third millennium. Abstracts of Int. Sci. Conf, Kiev, 5—9 of Nov., 2001]. Kiev, Ukraina Publ., 2001, p. 149. (in Russian).

4. Krivoruchko P. P., P'yanykh N. L., Denisenko Ye. A., Svetlichnyy Ye. A. *Korundovaya keramika, razrabotannaya i izgotavlivayemaya OAO "UkrNPIO imeni A. S. Berezhnogo"* [Corundum ceramics developed and manufactured by OJSC "The Ukrainian Research Institute of Refractories named after A. S. Berezhnoy"]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya prom-nost'* [Metallurgical and mining industry]. 2006, no. 2, pp. 65—69. (in Russian).

5. Kaynarskiy I. S. *Protssessy tekhnologii ogneuporov* [Processes of refractory technology]. Moscow, Metallurgiya Publ. [Metallurgy], 1969. 352 p. (in Russian).

6. Dobrovolskiy A. G. *Shlikernoye lit'ye* [Slip casting]. Moscow, Metallurgiya Publ. [Metallurgy], 1977. 240 p. (in Russian).

7. Martynenko V. V., Primachenko V. V., Mishneva Yu. Ye., Kushchenko K. I., Krakhmal' Yu. A., Karyakina E. L. *Issledovanie reologicheskikh svojstv glinozemykh shlikerov, sodержashhikh novye dispergirujushhuju i uprochnjajushhuju dobavki* [Study of the rheological properties of alumina slips containing new dispersing and hardening additives]. *Zb. nauk. pr. PAT "UKRNDI VOGNETRYVIV IM. A. S. BEREZHNOGO"* [Coll. Sci. Proc. of PJSC "THE URIR NAVED AFTER A. S. BEREZHNOY"]. Kharkov, PAT "UKRNDI VOGNETRYVIV IM. A. S. BEREZHNOHO" Publ., 2016, no. 116, pp. 98—109. (in Russian).

8. Каталог компании "ZSCHIMMER & SCHWARZ GMBH & CO KG CHEMISCHE FABRIKEN" [Catalog of the company "ZSCHIMMER & SCHWARZ GMBH & CO KG CHEMISCHE FABRIKEN"]. Available at: <https://www.zschimmer-schwarz.com/en/ceramic-auxiliaries/sanitary-ware/raw-material-preparation/dispersants/?returnUrl=https%3A%2F%2Fwww.zschimmer-schwarz.com%2Fen%2Fceramic-auxiliaries%2Fsanitary-ware%2Fraw-material-preparation%2Fdispersants%2Fproducts%2FDOLAPIX%2520PC%2520187%2F138363%2F&cHash=74eb203a068e1acd675ff59f617c250f>. (accessed 05.11.2018). (in German).

9. Каталог компании "MARTINSWERK GmbH" [Catalog of the company "MARTINSWERK GmbH"]. Available at: <https://www.martinswerk.de/startseite/> (accessed 05.11.2018). (in German).

10. Lukin Ye. S., Andrianov N. T. *Tekhnicheskiiy analiz i kontrol' proizvodstva keramiki* [Technical analysis and control of ceramics production]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 272 p. (in Russian).

11. Primachenko V. V., Martynenko V. V., Krivoruchko P. P., Mishneva Yu. Ye., Kushchenko K. I., Karyakina E. L., Sinyukova Ye. I., Krakhmal' Yu. A. Issledovaniya vliyaniya novykh dispergiruyushchey i uprochnyayushchey dobavok na reologicheskiye i lit'yevyye svoystva glinozemistykh shchlikerov i obraztsov korundovoy keramiki [Studies of the effect of dispersing and hardening additives on the rheological and molding properties of alumina slips and samples of corundum ceramics]. *Tekhnologiya i primeneniye ogneuporov i tekhn. keramiki v prom-sti. Tez. dokl. mezhdunar. nauch.-tekn. konf.*, Kharkov, 28—29 aprelya 2015 [Technology and application refractories and technical ceramics in industry. Abstracts of Int. Sci.-Techn. Conf., Kharkov, 28—29 Apr. 2015]. Kharkov, Original Publ., 2015, pp. 17—18. (in Russian).

12. Martynenko V. V., Primachenko V. V., Krivoruchko P. P., Mishneva Yu. Ye., Kushchenko K. I., Krakhmal' Yu. A., Sinyukova Ye. I., Karyakina E. L. Vliyaniye vida glinozema na svoystva shlikerov i obraztsov osoboplotnoy korundovoy keramiki [The influence of alumina type on the properties of slips and samples of high-density corundum ceramics]. *Zb. nauk. pr. PAT "UKRNDI VOGNETRYVIV IM. A. S. BEREZHNOGO"* [Coll. Sci. Proc. of PJSC "THE URIR NAVED AFTER A. S. BEREZHNOY"]. Kharkov, PAT "UKRNDI VOGNETRYVIV IM. A. S. BEREZHNOHO" Publ., 2015, no. 115, pp. 46—55. (in Russian).

13. Kushchenko K. I., Mishneva Yu. Ye., Krakhmal' Yu. A., Karyakina E. L. Vliyaniye vremeni vyderzhki glinozemistykh shlikerov s dispergiruyushchey i uprochnyayushchey dobavkami na ikh reologicheskiye svoystva i svoystva obraztsov korundovoy keramiki [The influence of the exposure time of alumina slips with dispersing and hardening additives on their rheological properties and properties of samples of corundum ceramics]. *Tekhnologiya i primeneniye ogneuporov i tekhn. keramiki v prom-sti. Tez. dokl. mezhdunar. nauch.-tekn. konf.*, Kharkov, 25—26 aprelya 2017 [Technology and application refractories and technical ceramics in industry. Abstracts of Int. Sci.-Techn. Conf., Kharkov, 25—26 Apr. 2017]. Kharkov, Rozhko S. G. Publ., 2017, pp. 20—21. (in Russian).

14. Martynenko V. V., Primachenko V. V., Kushchenko K. I., Krakhmal' Yu. A., Mishneva Yu. Ye., Karyakina E. L. Issledovaniye vliyaniya vremeni vyderzhki na reologicheskiye svoystva glinozemistykh shlikerov s dispergiruyushchey i uprochnyayushchey dobavkami i svoystva izgotovlennykh iz nikh obraztsov korundovoy keramiki [Study of the effect of exposure time on the rheological properties of alumina slips with dispersing and hardening additives and the properties of corundum ceramics made from them]. *Zb. nauk. pr. PAT "UKRNDI VOGNETRYVIV IM. A. S. BEREZHNOGO"* [Coll. Sci. Proc. of PJSC "THE URIR NAVED AFTER A. S. BEREZHNOY"]. Kharkov, PAT "UKRNDI VOGNETRYVIV IM. A. S. BEREZHNOGO" Publ., 2017, no. 117, pp. 138—148. (in Russian).

Рецензент канд. техн. наук Савина Л. К.