

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

## **Исследование влияния времени выдержки на реологические свойства глиноземистых шликеров с диспергирующей и упрочняющей добавками и свойства изготовленных из них образцов корундовой керамики**

### **Введение**

Среди методов формования корундовых керамических изделий значительное место занимает шликерное литье в гипсовые формы, достоинством которого является возможность формовать изделия различной конфигурации [1, 2].

В зависимости от толщины стенки и конфигурации изделия применяют два способа шликерного литья: сливной и наливной. Сливным способом отливают полые изделия в виде чехлов, труб, тиглей, изоляторов и т. п. с толщиной стенки 1—3 мм, а наливным способом — изделия сложной конфигурации, стержни, пластины, ступки, пестики, а также изделия с толщиной стенки 4—5 мм и более [3].

Качественное формование керамических изделий шликерным литьем обусловлено реологическими свойствами шликера, регулирование которых может быть осуществлено различными способами: введением различных добавок, способом подготовки сырья и шликера из него, временем выдержки шликера и др. [4].

На основании проведенных в ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» исследований [5] разработана технология корундовой керамики с нулевой открытой пористостью методом шликерного литья в гипсовые формы из водных глиноземистых шликеров (без использования каких-либо добавок, регулирующих реологические свойства шликеров) на основе глинозема марки MARTOXID MR70 (компании «MARTINSWERK GmbH»

корпорации «ALBEMARLE», Германия) при температуре обжига изделий 1580 °С.

В работе [5] электронномикроскопическими исследованиями было установлено, что глинозем марки MARTOXID MR70 состоит из частиц  $\sim 0,2$ — $1,5$  мкм и при затворении его водой сразу же образуются рыхлые агрегаты с размерами  $2,5$ — $4,0$  мкм (при этом суспензия имеет повышенную вязкость), которые при выдерживании суспензии (шликера) в течение определенного времени самопроизвольно разрушаются до первоначальных размеров ( $0,2$ — $1,5$  мкм) и вязкость шликера снижается. Поэтому в данной работе было принято (без проведения соответствующих исследований) время выдерживания шликера из этого глинозема в течение 24 ч.

В работе [6] установлена целесообразность использования в шликерах из указанного глинозема диспергирующей и упрочняющей добавок. Диспергирующая добавка улучшает реологические свойства шликеров — динамическая вязкость шликера с плотностью  $2,1$  г/см<sup>3</sup> без указанной добавки через 24 ч после его приготовления составляет  $\sim 80$  МПа·с, а с указанной добавкой  $\sim 18$  МПа. Упрочняющая добавка повышает устойчивость шликеров к оседанию, кажущуюся плотность и прочность сырца, не оказывая влияния на реологические свойства шликеров, скорость набора черепка и массу набора черепка. Для изготовления тонкостенных изделий (сливным способом) рекомендован шликер плотностью  $2,1$  г/см<sup>3</sup> с  $0,3$  % диспергирующей и  $0,2$  % упрочняющей добавками. Для изготовления толстостенных изделий (наливным способом) рекомендован шликер плотностью  $2,5$  г/см<sup>3</sup> с  $0,4$  % диспергирующей добавки. Введение в шликер с плотностью  $2,5$  г/см<sup>3</sup> упрочняющей добавки не является обязательным, так как он, вследствие более высокой плотности, является достаточно устойчивым к оседанию, а прочность сырца из него является достаточной для его транспортировки. Но в случае необходимости возможно введение упрочняющей добавки в шликер с плотностью  $2,5$  г/см<sup>3</sup>.

Однако влияние времени выдержки указанных шликеров на их реологические свойства и свойства изготовленных из них образцов не были изучены.

Таким образом, проведение исследований влияния времени выдержки глиноземистых шликеров с диспергирующей и упрочняющей добавками на их реологические свойства и свойства образцов корундовой керамики, получаемой методом шликерного литья в гипсовые формы, является актуальным.

## Экспериментальная часть

В качестве основного сырьевого компонента для проведения исследований использовали глинозем марки MARTOXID MR70, с содержанием  $Al_2O_3 \approx 99,8\%$ , преимущественным размером частиц  $0,2-1,5$  мкм, удельной поверхностью  $9,1$  м<sup>2</sup>/г, насыпным весом —  $900$  кг/м<sup>3</sup> [7]. В качестве диспергирующей добавки использовали водный раствор аммониевой соли акрилового сополимера, который относится к классу высокоэффективных низковязких диспергирующих агентов для водно-дисперсионных материалов с  $pH=7,5$ , вязкостью при  $25^\circ C$  —  $400$  мПа·с и плотностью  $1,23$  г/см<sup>3</sup>. В качестве упрочняющей добавки использовали водный дисперсный полимер с  $pH=7$ , вязкостью при  $20^\circ C$  —  $20$  мПа·с и плотностью  $1,07$  г/см<sup>3</sup>.

Для проведения исследований готовили водные глиноземистые шликеры: с  $0,3\%$  диспергирующей и  $0,2\%$  упрочняющей добавками, плотностью  $2,1$  г/см<sup>3</sup> и влажностью  $\sim 30\%$  (для отливки тонкостенных изделий сливным способом) и с  $0,4\%$  диспергирующей добавки, плотностью  $2,5$  г/см<sup>3</sup> и влажностью  $\sim 20\%$  (для отливки толстостенных изделий наливным способом). Влажность шликеров рассчитывали согласно [8] по формуле:

$$W_{\text{шл}} = \frac{\gamma - \rho_{\text{шл}}}{\rho_{\text{шл}}(\gamma - 1)} \cdot 100\%,$$

где  $\gamma$  — истинная плотность минерального вещества, г/см<sup>3</sup> (истинная плотность глинозема марки MARTOXID MR70 составляет  $3,398$  г/см<sup>3</sup>);  $\rho_{\text{шл}}$  — плотность шликера, г/см<sup>3</sup>.

Реологические свойства шликеров оценивали по их динамической вязкости, которую определяли с помощью цифрового вискозиметра Брукфильда LVDV-II+ Pro при скорости вращения шпинделя  $100$  об/мин [9].

Для исследования влияния времени выдержки глиноземистых шликеров с диспергирующей и упрочняющей добавками на их реологические свойства и свойства образцов 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  $110^\circ C$ , затем обжигали в камерной печи периодического действия опытного производства ПАО «УКРНИИО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» при температуре  $1580^\circ C$  с выдержкой при конечной температуре  $8$  ч.

Кажущуюся плотность высушенного при  $110^\circ C$  сырца определяли путем замера и взвешивания образцов. Предел

прочности при сжатии сырца определяли в соответствии с ГОСТ 4071.1—94, кажущуюся плотность, открытую и общую пористость образцов после обжига — в соответствии с ГОСТ 2409—95. Изменение линейных размеров образцов в обжиге определяли как отношение разницы линейных размеров образцов до и после обжига к их линейным размерам до обжига. Предел прочности при изгибе определяли в соответствии с МИ 322-49-2012, сущность которой заключается в том, что испытуемый образец (балочка) помещается в нагружающее устройство для трехточечного изгиба и нагружается при постоянной скорости нагружения до разрушения образца. Определение термической стойкости осуществляли в соответствии с МИ 322-49-2012, сущность которой заключается в том, что образец (балочка) нагревается до температуры, превышающей температуру охлаждающей воды (15—30 °С), затем подвергается термическому удару путем резкого охлаждения в воде, после чего высушивается и подвергается испытанию на прочность при изгибе. Так испытания повторяются на следующих образцах с увеличением температуры нагрева образцов, и определяется критическая разность температур  $\Delta t$  (разность между температурой нагрева образцов и температурой охлаждающей воды), при которой средняя величина предела прочности при изгибе образца снижается не менее чем на 30 % по сравнению с прочностью образцов, не подвергнутых термическому удару.

## Результаты и их обсуждение

Результаты исследования зависимости динамической вязкости глиноземистого шликера плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками и шликера плотностью 2,5 г/см<sup>3</sup> с 0,4 % диспергирующей добавки от времени их выдержки приведены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что в течение 8 ч выдержки шликера (в герметично закрытой емкости) динамическая вязкость обоих глиноземистых шликеров независимо от их состава, плотности и влажности начинает уменьшаться практически сразу же после их приготовления и этот процесс продолжается примерно до 24 ч выдержки. С увеличением времени выдержки до 672 ч значения динамической вязкости постепенно возрастают.

Характер кривой на рис. 1 для шликера плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup>, содержащего, кроме диспергирующей добавки, также и упрочняющую добавку, подтверждает полученные в работе [6] резуль-

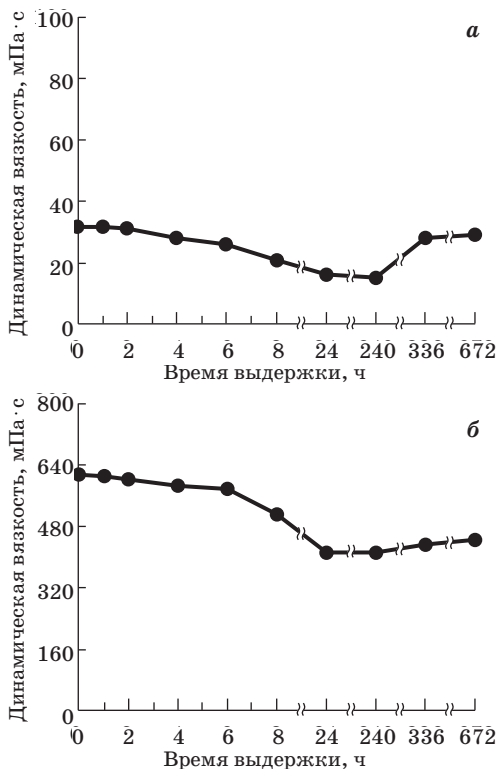


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости глиноземистых шликеров плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками (а) и плотностью 2,5 г/см<sup>3</sup> с 0,4 % диспергирующей добавки (б) от времени их выдержки

не связанных в агрегаты, становится максимальным, и это приводит к интенсификации броуновского движения частиц, и они при столкновении снова агрегируются, и вследствие этого увеличивается вязкость шликеров при дальнейшем увеличении времени их выдержки до 672 ч.

Такой характер изменения динамической вязкости шликеров в зависимости от времени их выдержки объясняется результатами электронномикроскопических исследований их структуры после 24 ч выдержки, приведенной на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что глиноземистый шликер плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей до-

таты, что упрочняющая добавка не влияет на реологические свойства шликеров.

Характер полученных кривых для обоих шликеров свидетельствует также о том, что даже в свежеприготовленных шликерах имеются агрегаты с непрочной структурой из частиц глинозема и что постепенное уменьшение вязкости шликеров происходит вследствие разрушения (самопроизвольного) агрегатов, так как при этом высвобождается связанная в них вода, но одновременно с этим увеличивается количество ультрадисперсных частиц, не связанных в агрегаты. После выдержки шликеров в течение ~ 24 ч их вязкость становится минимальной, а количество тонкодисперсных частиц,

бавками (рис. 2, а) после 24 ч выдержки представлен тонкодисперсной массой, преимущественно состоящей из частиц глинозема размером от 0,1 до 0,18 мкм, а также в подчиненном количестве, размером от 0,8 до 1,5 мкм. В этом шликере образуется гелевидное вещество, которое согласно [10] имеет конденсационную структуру. При этом следует отметить, что гелевидное вещество представляет собой не сплошную субстанцию, а располагается в шликере в виде бесструктурных образований, обволакивающих частички глинозема и соединяющих их между собой. Такое строение позволяет гелевидному веществу более равномерно распределиться среди всех частиц глинозема во всем объеме шликера и препятствовать его оседанию, что коррелирует с результатами определения устойчивости шликера в работе [6], где установлено, что устойчивость шликера с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками существенно превышает таковую для шликеров без добавок и с 0,4 % диспергирующей добавки.

Глиноземистый шликер с 0,4 % диспергирующей добавки (рис. 2, б) после 24 ч выдержки состоит из ультрадисперсных

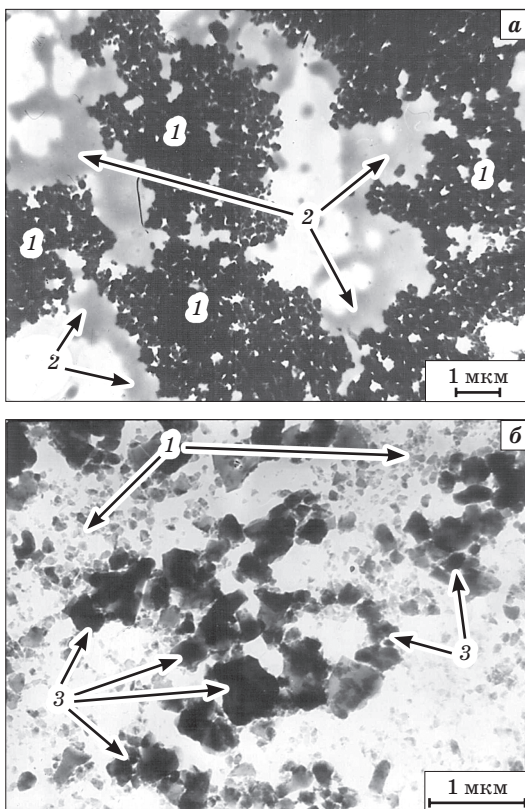


Рис. 2. Микроструктура глиноземистых шликеров плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками (а) и плотностью 2,5 г/см<sup>3</sup> с 0,4 % диспергирующей добавки (б) после 24 ч выдержки: 1 — частицы глинозема; 2 — гелевидное вещество; 3 — агрегаты из частиц глинозема



частиц глинозема (размером 0,001—0,09 мкм), не связанных между собой. В нем наблюдается небольшое количество агрегатов различной величины и конфигурации из частиц глинозема, наличие которых способствует образованию центров упрочнения среди дисперсных частиц шликера. Этот факт является положительным при шликерном литье толстостенных изделий из корундовой керамики наливным способом.

Шликер плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками и шликер плотностью 2,5 г/см<sup>3</sup> с 0,4 % диспергирующей добавки были подвергнуты незначительному механическому воздействию (перемешивание в течение 1 мин в пропеллерной мешалке) после хранения их в течение 1 месяца в герметичной емкости. Оба шликера показали высокую степень разжижения после перемешивания и были пригодными для формования из них изделий методом шликерного литья. Таковую же высокую степень разжижения после перемешивания показал и специально приготовленный для сопоставления шликер плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> без добавок после хранения в герметичной емкости в течение 1 месяца.

Полученные результаты зависимости динамической вязкости шликеров от времени их выдержки, микроструктуры шликеров после 24 ч их выдержки и результаты вышеописанных экспериментов по механическому воздействию на шликеры после их выдержки в течение 1 месяца свидетельствуют о том, что в шликере плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> с диспергирующей и упрочняющей добавками образуется непрочная коагуляционно-конденсационная структура при увеличении времени выдержки более 24 ч, а в шликерах плотностью 2,5 г/см<sup>3</sup> с диспергирующей добавкой и плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> без добавок образуется в тех же условиях непрочная коагуляционная структура. Указанные коагуляционно-конденсационная и коагуляционная структуры легко разрушаются даже при незначительном механическом воздействии, и шликеры являются пригодными для изготовления из них качественных изделий. Оптимальным временем выдерживания обоих шликеров является 24 ч. Однако, как показал опыт, свежеприготовленные шликеры также являются пригодными для получения качественной продукции и устанавливать время выдерживания шликеров необходимо с учетом размеров и конфигурации изделий, условий их службы и объемов изготовления. Для примера на рис. 3 приведена непрочная коагуляционная микроструктура шликера плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> без добавок после хранения его в герметичной емкости в течение 1 месяца.

Учитывая тот факт, что для приготовления обоих шликеров использован один и тот же исходный глинозем марки MARTOXID MR70 с размером частиц 0,2—1,5 мкм и что в шликере с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками глинозем представлен преимущественно

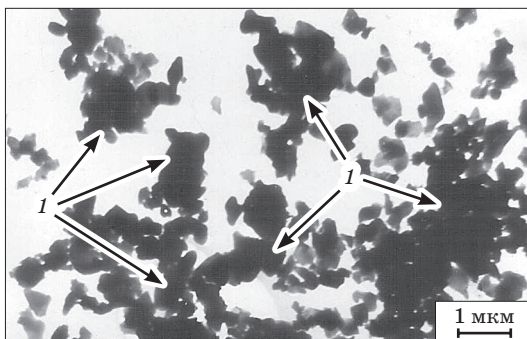


Рис. 3. Микроструктура шликера плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> без добавок после хранения его в герметичной емкости в течение 1 месяца:  
1 – агрегаты из частиц глинозема

но частицами с размерами 0,1—0,18 мкм, а в шликере с 0,4 % диспергирующей добавки глинозем представлен ультрадисперсными частицами (0,001—0,09 мкм), можно сделать вывод, что частицы в исходном глиноземе являются агрегатами, состоящими из частиц менее 0,09 мкм.

Свойства образцов корундовой керамики, полученных из шликеров после их выдержки в течение 1 месяца с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками (плотность шликера 2,1 г/см<sup>3</sup>) и с 0,4 % диспергирующей добавки (плотность шликера 2,5 г/см<sup>3</sup>) до и после обжига при температуре 1580 °С, приведены в таблице.

Таблица

Свойства образцов корундовой керамики, полученных из шликеров после их выдержки в течение 1 месяца с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками и с 0,4 % диспергирующей добавки до и после обжига при температуре 1580 °С

Образцы из шликера с плотностью, г/см <sup>3</sup>	Свойства высушенных образцов		Свойств образцов после обжига при 1580 °С					
	кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	предел прочности при сжатии, МПа	пористость, %		кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	изменение линейных размеров, %	предел прочности при изгибе, МПа	термостойкость Δt <sub>кр.</sub> , °С
			открытая, %	общая, %				
2,1	2,36	2,7	0	0,86	3,93	-16,7	340	160
2,5	2,38	2,4	0	0,86	3,93	-16,7	270	160

Из табл. видно, что образцы корундовой керамики на основе глинозема марки MARTOXID MR70 после обжига при темпера-



туре 1580 °С, полученные из шликеров после их выдержки в течение 1 месяца с 0,3 % диспергирующей и 0,2 % упрочняющей добавками и с 0,4 % диспергирующей добавки, по своим основным свойствам являются практически такими же, как и образцы, изготовленные в работах [5] и [6] из шликеров на основе этого же глинозема, выдержанных 24 ч.

## Заключение

Исследовано влияние времени выдержки на реологические свойства шликеров и свойства изготовленных из них образцов корундовой керамики на основе глинозема марки MARTOXID MR70 с диспергирующей и упрочняющей добавками (для изготовления тонкостенных изделий) и только с диспергирующей добавкой (для изготовления толстостенных изделий). Установлено, что время выдержки оказывает существенное влияние на реологические свойства шликеров. Динамическая вязкость шликеров постепенно снижается при увеличении времени выдержки до 24 ч за счет разрушения агрегатов, из которых состоят частицы исходного глинозема, и достигает при этом своего минимального значения. При увеличении времени выдержки шликеров более 24 ч их динамическая вязкость постепенно повышается за счет образования коагуляционно-конденсационной структуры в шликере с комбинированной добавкой (диспергирующей и упрочняющей) и коагуляционной структуры в шликере, содержащем только диспергирующую добавку, и в шликере без добавок, и этот процесс не заканчивается при принятом в наших исследованиях времени выдержки 672 ч. Однако указанные структуры во всех трех шликерах являются непрочными и легко практически полностью разрушаются даже при незначительном механическом воздействии, и такие шликеры являются пригодными для изготовления из них качественных изделий. Образцы, изготовленные из шликеров с выдержкой 24 ч и 720 ч, имеют практически одинаковые свойства, т. е. увеличение времени выдержки более 24 ч не оказывает влияния на свойства образцов. Свежеприготовленные шликеры также являются пригодными для получения качественной продукции, и устанавливать время выдерживания шликеров необходимо с учетом размеров и конфигурации изделий, условий их службы и объемов изготовления.

Электронномикроскопическими исследованиями установлено, что повышение устойчивости к оседанию шликера, содержащего упрочняющую добавку, связано с образованием в этом

шликере гелевидного вещества, которое обволакивает частицы глинозема и тем самым препятствует его оседанию.

### Библиографический список

1. Шликерное литье / А. Г. Добровольский. М. : Metallurgiya, 1977. 240 с.
2. Корундовые огнеупоры и керамика / Криворучко П. П., Пьяных Н. Л., Кабакова И. И., Гирич Н. А., Баранник Ю. П., Рабинков Л. Г., Денисенко Е. А. // *Научные исследования по технологии и службе огнеупоров. К 70-летию Украинского научно-исследовательского института огнеупоров* : сб. науч. тр. Х. : Каравелла, 1997. С. 167—185.
3. *Корундовые огнеупоры и керамика* / И. С. Кайнарский, Э. В. Дегтярева, И. Г. Орлова. М. : Metallurgiya, 1981. 267 с.
4. Процессы технологии огнеупоров / И. С. Кайнарский. М. : Metallurgiya, 1969. 352 с.
5. Влияние вида глинозема на свойства шликеров и образцов особоплотной корундовой керамики / Мартыненко В. В., Примаченко В. В., Криворучко П. П., Мишнева Ю. Е., Кущенко К. И., Крахмаль Ю. А., Синюкова Е. И., Карякина Э. Л. // *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМЕНІ А. С. БЕРЕЖНОГО», 2015. № 115. С. 46—55.
6. Исследование реологических свойств глиноземистых шликеров, содержащих новые диспергирующую и упрочняющую добавки / Мартыненко В. В., Примаченко В. В., Мишнева Ю. Е., Кущенко К. И., Крахмаль Ю. А., Карякина Э. Л. // *Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»*. Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМЕНІ А. С. БЕРЕЖНОГО», 2016. № 116. С. 98—109.
7. Глинозем марки MARTOXID MR 70: каталог компании «MARTINSWERK GmbH» корпорации «Albemarle» (Германия). URL : [http://www.martinswerk.com/allproducts\\_e.aspx](http://www.martinswerk.com/allproducts_e.aspx) (дата звернення: 23.06.2017).
8. *Технический анализ и контроль производства керамики* / Е. С. Лукин, Н. Т. Андрианов. М. : Стройиздат, 1986. 272 с.
9. Программируемый вискозиметр Брукфильда DV-II+PRO. Инструкция по эксплуатации. Руководство № M/03-65. URL : <http://www.brookfieldengineering.com> (дата звернення: 18.04.2017).
10. *Курс коллоидной химии* / Ю. Г. Фролов. М. : Химия, 1982. 400 с.

### References (transliterated)

1. Dobrovolskiy A. G. *Shlikernoye lit'ye* [Slip casting]. Moscow: Metallurgiya Publ. [Metallurgy], 1977, 240 p. (in Russian).
2. Krivoruchko P. P., P'yanykh N. L., Kabakova I. I., Girich N. A., Baranik Yu. P., Rabinkov L. G., Denisenko E. A. *Korundovyye ogneupory i keramika* [Corundum refractories and ceramics]. *Nauchnyye issledovaniya po tekhnologii i sluzhbe ogneuporov. K 70-letiyu Ukrain'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ogneuporov. Sb. Nauch. Trudov* [Scientific research on technology and service of refractories. To the 70th anniversary of the Ukrainian Research Institute of Refractories. Coll. Sci. Proc.]. Kharkov: Karavella Publ., 1997, pp. 167—185 (in Russian).
3. Kaynarskiy I. S., Degtyareva E. V., Orlova I. G. *Korundovyye ogneupory i keramika* [Corundum refractories and ceramics]. Moscow: Metallurgiya Publ. [Metallurgy], 1981, 267 p. (in Russian).

4. Kaynarskiy I. S. *Protsessy tekhnologii ogneporov* [Processes of Refractory Technology]. Moscow: Metallurgiya Publ. [Metallurgy], 1969, 352 p. (in Russian).
5. Martynenko V. V., Primachenko V. V., Krivoruchko P. P., Mishnyova Yu. E., Kushchenko K. I., Krakhmal Yu. A., Sinyukova E. I., Karyakina E. L. Vliyaniye vida glinozema na svoystva shlikerov i obraztsov osoboplotnoy korundovoy keramiki [Influence of alumina kind on properties of slips and high-density corundum ceramic samples]. *Zb. nauk. pr. PAT "UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO"* [Coll. Sci. Papers of PJSC "THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY"]. Kharkov: PAT "UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO" Publ., 2015, no. 115, pp. 46—55 (in Russian).
6. Martynenko V. V., Primachenko V. V., Mishnyova Yu. E., Kushchenko K. I., Krakhmal Yu. A., Karyakina E. L. Issledovaniye reologicheskikh svoystv glinozemistykh shlikerov, sodержashchikh novyye dispergiruyushchuyu i uprochnyayushchuyu dobavki [Researche of rheological properties of alumina slips containing the new dispersing and hardening additions]. *Zb. nauk. pr. PAT "UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO"* [Coll. Sci. Papers of PJSC "THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY"]. Kharkov: PAT "UKRNDI VOGNETRIVIV IM. A. S. BEREZHNOGO" Publ., 2016, no. 116, pp. 98—109 (in Russian).
7. Glinozem marki MARTOXID MR 70. Katalog kompanii "MARTINSWERK GmbH" korporatsii "Albemarle" (Germaniya) [Alumina of the brand MARTOXID MR 70. Catalog of the company "MARTINSWERK GmbH" corporation "Albemarle" (Germany)]. URL: [http://www.martinswerk.com/allproducts\\_e.aspx](http://www.martinswerk.com/allproducts_e.aspx) (accessed 23.06.2017) (in Russian).
8. Lukin E.S., Andrianov N.T. *Tekhnicheskii analiz i kontrol' proizvodstva keramiki* [Technical analysis and control of ceramics production]. Moscow: Stroizdat Publ., 1986, 272 p. (in Russian).
9. Programmiruyemyy viskozimetr Brukfil'da DV-II+PRO. Instruktsiya po ekspluatatsii. Rukovodstvo no. M/03-65 [Programmable viscometer Brookfield DV-II + PRO. User's manual. Manual no. M / 03-65]. URL: <http://www.brookfieldengineering.com> (accessed 18.04.2017).
10. Frolov Yu. G. *Kurs kolloidnoy khimii* [Course of colloid chemistry]. Moscow: Khimiya Publ. [Chemistry], 1982, 400 p. (in Russian).