

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

## **Исследование новых видов глиноземов с целью их использования для изготовления высокоогнеупорной особоплотной корундовой керамики методом шликерного литья**

### **Введение**

В ПАО «УКРНИИ ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» разработана и внедрена технология высокоогнеупорной корундовой особоплотной керамики, получаемой методом шликерного литья в гипсовые формы, которая предполагает использование в качестве основного сырьевого компонента глинозема марки MARTOXID MR70 компании «MARTINSWERK GmbH» корпорации «ALBEMARLE» (Германия), без применения каких-либо добавок, регулирующих реологические свойства шликеров [1]. Проведенными ранее исследованиями [2, 3] установлена целесообразность использования для отливки тонкостенных изделий (до 1—2 мм) сливным способом шликера с плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> с диспергирующей добавкой (водный раствор аммониевой соли акрилового сополимера) в количестве 0,3 % и упрочняющей добавкой (водный дисперсный полимер) в количестве 0,2 %, а для отливки толстостенных изделий (стенка 4—5 мм и более) наливным способом — шликера с плотностью 2,5 г/см<sup>3</sup> с указанной диспергирующей добавкой в количестве 0,4 %.

В настоящее время для изготовления высококачественной корундовой керамики производители глиноземсодержащих сырьевых материалов предлагают широкий ассортимент глиноземов. Так, компания «Almatis GmbH» (Германия) [4], производящая различные марки глинозема, рекомендует для изготовления корундовой керамики методом шликерного литья глиноземы марок А 16 SG [5] и А 1000 SG [6] с применением диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты.

Проведение исследований возможности использования в качестве сырьевых материалов новых видов глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG, диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты представляет научный и практический интерес.

### Экспериментальная часть

Для проведения исследований в качестве сырьевых материалов использовали новые виды глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG с удельной поверхностью 8,9 и 8,2 м<sup>2</sup>/г, насыпным весом — 1190 и 1170 кг/м<sup>3</sup> соответственно. В качестве диспергатора использовали добавку на основе карбоновой кислоты с плотностью 1,20 г/см<sup>3</sup> и рН=7, которую вводили в заданном количестве в интервале от 0,1 до 1,0 %.

Химический состав глиноземов, образцов и изделий определяли спектральным методом по ГОСТ 23201.0—78 — ГОСТ 23201.2—78. Фазовый состав и структуру глиноземов исследовали петрографическим с применением микроскопа МИН-8 и электронномикроскопическим с использованием электронного микроскопа просвечивающего типа ЭМВ-100 А методами анализа.

Для проведения исследований готовили водные шликеры плотностью 2,1 г/см<sup>3</sup> и влажностью 30 % (по аналогии со шликером из глинозема марки MARTOXID MR70) [1, 3].

Время истечения (текучесть) и относительную вязкость шликеров определяли с помощью вискозиметра Энглера [7, 8]. Относительную вязкость шликеров, выраженную в градусах Энглера (°Е), 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. Динамическую вязкость шликера определяли с помощью цифрового вискозиметра Брукфильда LVDV-II+ Pro при скорости вращения шпинделя 100 об/мин [9].

Скорость набора черепка и его массу определяли методом тигельков [8], 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 ( $\text{г}/\text{см}^2$ ) определяли как отношение

$$\frac{g}{F},$$

где  $F$  — площадь поверхности гипса, соприкасающегося со шликером,  $\text{см}^2$ .

Скорость набора черепка  $C_n$  ( $\text{г}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ) рассчитывали по формуле:

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

где  $\tau$  — время набора черепка, мин.

Для гипсовой формы тигля поверхность соприкосновения со шликером  $F$  ( $\text{см}^2$ ), 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 [8] в стеклянный мерный цилиндр объемом 250 мл заливали исследуемый шликер и выдерживали 24 ч. По окончании хранения отмечали визуально объем отделившейся жидкой фазы суспензии. В работе [8] показатель устойчивости шликеров рекомендуются определять по формуле:

$$U = \frac{V_{\text{шл}}}{V_c},$$

где  $V_{\text{шл}}$  — объем исследуемого шликера,  $\text{см}^3$ ;  $V_c$  — объем отделившейся жидкой фазы,  $\text{см}^3$ .

Нами же в данной работе показатель (коэффициент) устойчивости шликеров определялся по формуле:

$$U = \frac{V_{\text{шл}} - V_c}{V_{\text{шл}}}.$$

Образцы в виде цилиндров диаметром и высотой 36 мм изготавливали методом шликерного литья в гипсовые формы, затем

сушили до постоянного веса при температуре 110 °С и 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. Открытую пористость, кажущуюся плотность образцов после обжига определяли 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.

## Результаты и их обсуждение

Результаты исследования химического состава глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав глиноземов

Марка глинозема	Массовая доля, %						
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	Δm <sub>прк</sub>
А 16 SG	99,55	0,04	0,03	0,02	0,05	0,08	0,23
А 1000 SG	99,66	0,03	0,02	0,02	0,04	0,07	0,16

Из табл. 1 следует, что исследуемые глиноземы марок А 16 SG и А 1000 SG характеризуются высоким содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и низким содержанием примесных оксидов.

По данным петрографического анализа<sup>1</sup> глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG пробы этих материалов представлены мелкодисперсными частицами с показателем преломления, характерным для α -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Электронномикроскопические исследования глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG показали, что они подобны и представлены мелкими частицами α -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с преобладающим размером 0,2—0,6 мкм, минимальным — 0,04—0,08 мкм (рис. 1, а и б). Для глинозема марки А 16 SG характерна бóльшая агрегация частиц с образованием рыхлообразных агрегатов. Изредка встречаются более плотные агрегаты размером 3—7 мкм. В глиноземе марки А 1000 SG агрегация частиц менее выражена, а также наблюдается присутствие значительного количества пластинчатых частиц.

<sup>1</sup> Выполнен ведущим инженером Т. Г. Тишиной.

Таким образом, на основании спектрально-петрографического и электронномикроскопического исследований можно сделать вывод о том, что исследованные глиноземы марок А 16 SG и А 1000 SG представляют собой мелкодисперсные с развитой поверхностью материалы с высоким содержанием  $Al_2O_3$  и низким содержанием примесных оксидов.

Результаты определения времени истечения и относительной вязкости свежеприготовленных шликеров из глиноземов марок А 1000 SG и А 16 SG в зависимости от массовой доли диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что шликеры из глиноземов марки А 16 SG и А 1000 SG без диспергирующей добавки характеризуются длительным временем истечения — 12 и 17,2 с соответственно, а следовательно, высокой относительной вязкостью — 3,43 и 4,91<sup>°Е</sup> соответственно. Поэтому без введения диспергатора, снижающего вязкость системы, шликеры с влажностью 30% из глиноземов марки А 16 SG и А 1000 SG использоваться не могут. Введение в указанные шликеры 0,1 и 0,2% диспергирующей добавки приводит к значительному снижению времени истечения: в ~2,3 раза для шликера из глинозема марки А 16 SG и в ~2,9 раза для шликера

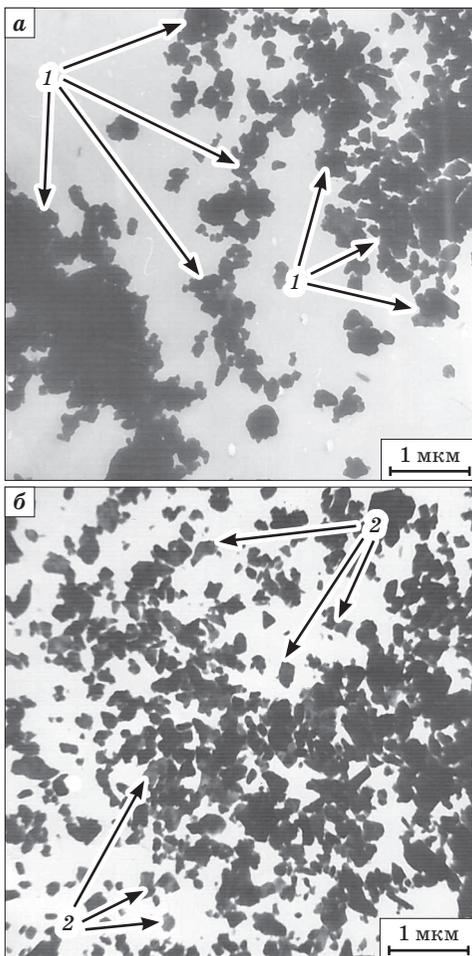


Рис. 1. Микроструктура глиноземов марки А 16 SG (а) и А 1000 SG (б):

1 — агрегаты; 2 — пластинчатые частицы

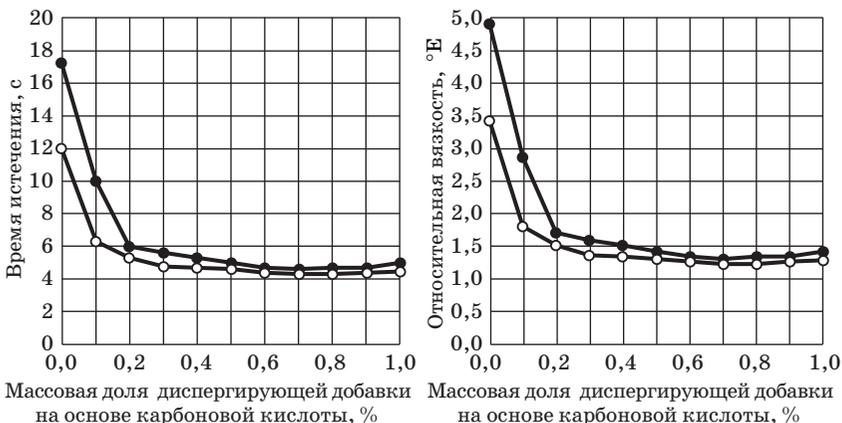


Рис. 2. Зависимость времени истечения и относительной вязкости свежеприготовленных шликеров от массовой доли диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты:

○ — шликер из глинозема марки А 16 SG; ● — шликер из глинозема марки А 1000 SG

из глинозема марки А 1000 SG, а следовательно, и относительной вязкости. При увеличении массовой доли диспергирующей

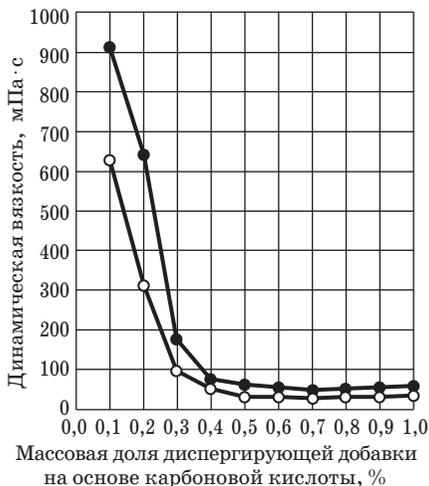


Рис. 3. Зависимость динамической вязкости шликеров от массовой доли диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты:

● — шликер из глинозема марки А 1000 SG; ○ — шликер из глинозема марки А 16 SG

добавки в обоих шликерах до 0,7 % отмечаются наименьшие значения времени истечения: 4,3 и 4,6 с соответственно, а следовательно, и относительной вязкости: 1,23 и 1,31 °Е соответственно. При дальнейшем увеличении массовой доли диспергирующей добавки в шликерах из обоих глиноземов до 1,0 % отмечается тенденция к совсем незначительному увеличению значений времени истечения и относительной вязкости.

Результаты определения динамической вязкости свежеприготовленных шликеров из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG в зависимости от массовой доли

диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты представлены на рис. 3. Следует отметить, что динамическую вязкость обоих шликеров без введения диспергирующей добавки определить не представляется возможным из-за их высокой вязкости.

Из рис. 3 видно, что значительное снижение динамической вязкости обоих шликеров отмечается при введении диспергирующей добавки в количестве 0,3 %: для шликера из глинозема марки А 16 SG — в  $\sim 6,3$  раза; для шликера из глинозема марки А 1000 SG — в  $\sim 5,1$  раза. Минимальное значение динамической вязкости шликеров отмечается при введении 0,7 % диспергирующей добавки — 30 мПа·с для шликера из глинозема марки А 16 SG и 51 мПа·с для шликера из глинозема марки А 1000 SG.

Результаты исследований скорости набора черепка и набор черепка из шликеров А 16 SG и А 1000 SG в зависимости от массовой доли диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты представлены на рис. 4.

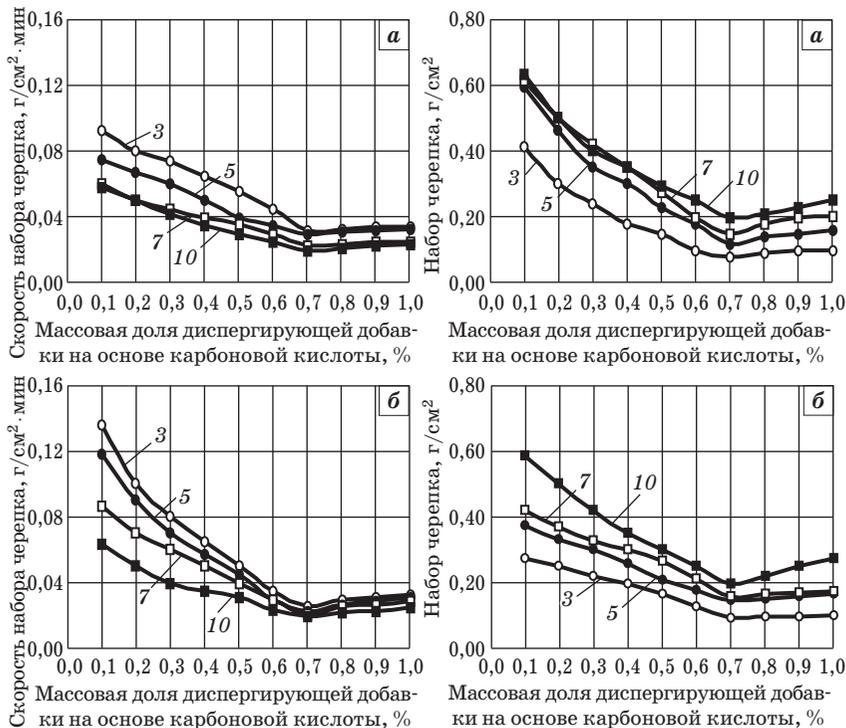


Рис. 4. Зависимость скорости набора и набора черепка шликеров из глиноземов марок А 16 SG (а) и А 1000 SG (б) в зависимости от массовой доли диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты: цифры на кривых — время набора черепка, мин

На рис. 4 показано, что введение диспергирующей добавки приводит к снижению как скорости набора черепка, так и набора черепка из обоих шликеров. Минимальные значения скорости набора черепка и набор черепка отмечаются при введении в шликеры 0,7 % диспергирующей добавки. Дальнейшее увеличение массовой доли диспергирующей добавки (до 1,0 %) приводит к незначительному увеличению скорости набора черепка и набору черепка.

Таким образом, в результате проведенных исследований влияния диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты на реологические свойства шликеров из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG установлено, что минимальные значения времени истечения, относительной и динамической вязкостей, скорости набора и набора черепка достигаются при введении 0,7 % диспергирующей добавки в шликеры из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG, 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 коэффициента устойчивости шликеров из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG с оптимальным количеством диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты является целесообразным.

Результаты определения коэффициента устойчивости шликеров из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG с оптимальным количеством диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

**Результаты определения устойчивости шликеров из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG**

Шликер из глинозема марки	Объем отделившейся жидкой фазы ( $V_c$ ) и значение коэффициента устойчивости ( $U$ ) по истечению времени хранения в течение					
	1 суток		5 суток		10 суток	
	$V_c$ , см <sup>3</sup>	$U$ , %	$V_c$ , см <sup>3</sup>	$U$ , %	$V_c$ , см <sup>3</sup>	$U$ , %
А 16 SG	10	0,960	32	0,872	32	0,872
А 1000 SG	12	0,952	36	0,856	36	0,856

Из табл. 2 следует, что после одних суток хранения шликеры из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG с 0,7 % диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты характеризуются невысоким коэффициентом устойчивости (0,960 и 0,952 соответственно), а с увеличением времени хранения (до 5 и 10 суток) этот показатель снижается еще в  $\sim 1,1$  раза.

Результаты определения свойств образцов до и после обжига при температуре 1580 °С, полученных методом шликерного литья в гипсовые формы из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG с оптимальным количеством диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства образцов корундовой керамики до и после обжига при температуре 1580 °С

Глинозем марки	Средние значения показателей свойств образцов				Изменение линейных размеров образцов после обжига при 1580 °С, %	Химический состав образцов корундовой керамики, массовая доля, %				
	высушенных при 110 °С		после обжига при 1580 °С			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	предел прочности при сжатии, МПа	кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	открытая пористость, %						
А 16 SG	1,92	1,6	3,92	0,2	22,1	99,84	0,05	0,06	0,03	0,02
А 1000 SG	1,94	2,1	3,91	0,4	21,5	99,88	0,04	0,05	0,01	0,02

Из табл. 3 следует, что по показателям свойств образцы корундовой керамики из глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG с оптимальным количеством диспергирующей добавки на основе карбоновой кислоты после обжига при 1580 °С соответствуют требованиям ТУ У 23.2-00190503-347:2012 с изм. № 1 для изделий марки КОПМ, а именно: массовая доля Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не менее 99,5 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не более 0,05 %, MgO не более 0,25 % и открытая пористость — не более 0,8 %.

Поэтому глиноземы марок А 16 SG и А 1000 SG могут быть использованы в качестве сырьевых материалов в технологии высокоогнеупорных корундовых особоплотных изделий при изготовлении их методом шликерного литья наряду с глиноземом марки MARTOXID MR70.

## Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что использование глиноземов марок А 16 SG и А 1000 SG в сочетании с диспергирующими добавками, в частности с добавкой на основе карбоновой кислоты, обеспечивает получение методом шликерного литья в гипсовые формы качественной высокоогнеупорной корундовой особоплотной керамики после обжига при 1580 °С с содержанием  $Al_2O_3$  — не менее 99,5 %,  $Fe_2O_3$  — не более 0,05 %,  $MgO$  — не более 0,25 % и открытой пористостью не более 0,8 %.

### Библиографический список

1. 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.

2. Влияние количества диспергирующей и упрочняющей добавок на реологические свойства глиноземистых шликеров и образцов корундовой керамики / В. В. Мартыненко, Ю. Е. Мишнева, К. И. Кущенко, Ю. А. Крахмаль, Э. Л. Карякина // *Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности* : междунар. науч.-техн. конф., Харьков, 11—12 мая 2016 г. : тез. докл. — Х. : Оригинал, 2016. С. 30—32.

3. 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.

4. Каталог компании «Almatis GmbH» (Германия). URL : <http://www.almatis.com/> (дата звернення: 23.06.2017).

5. Глинозем марки А 16 SG. Каталог компании «Almatis GmbH» (Германия). URL : [http://www.almatis.com/media/4015/rp-am\\_001\\_reactives\\_4\\_ceramics\\_0608.pdf](http://www.almatis.com/media/4015/rp-am_001_reactives_4_ceramics_0608.pdf) (дата звернення: 23.06.2017).

6. Глинозем марки А 1000 SG. Каталог компании «Almatis GmbH» (Германия). URL : [http://www.almatis.com/media/4015/rp-am\\_001\\_reactives\\_4\\_ceramics\\_0608.pdf](http://www.almatis.com/media/4015/rp-am_001_reactives_4_ceramics_0608.pdf) (дата звернення: 23.06.2017).

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

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 № М/03-65. URL : <http://www.brookfieldengineering.com> (дата звернення: 18.04.2017).

## References (transliterated)

1. 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 obratstov osoboplotnoy korundovoy keramiki [Influence of alumina kind on properties of slips and high-density corundum ceramic samples]. *Zb. nauk. pr. PAT "UKRNDI VOGNETRIVIM. A. S. BEREZHNOGO"* [Coll. Sci. Papers of PJSC "THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY"]. Kharkov: PAT "UKRNDI VOGNETRIVIM. A. S. BEREZHNOGO" Publ., 2015, no. 115, pp. 46—55 (in Russian).
2. Martynenko V. V., Mishnyova Yu. E., Kushchenko K. I., Krakhmal Yu. A., Karyakina E. L. Vliyaniye kolichestva dispergiruyushchey i uprochnyayushchey dobavok na reologicheskiye svoystva glinozemistykh shlikerov i obratstov korundovoy keramiki [Influence of the amount of dispersing and strengthening additives on the rheological properties of alumina slurries and samples of corundum ceramics]. *Tekhnologiya i primeneniye ogneuporov i tekhnicheskoy keramiki v promyshlennosti. Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Kharkov, 11—12 maya 2016 [Technology and application refractories and technical ceramics in industry. Abstracts of Int. Sci.-Techn. Conf., Kharkov, 11—12 May 2016]. Kharkov: Original Publ., 2016, pp. 30—32 (in Russian).
3. Martynenko V. V., Primachenko V. V., Mishnyova Yu. E., Kushchenko K. I., Krakhmal Yu. A., Karyakina E. L. Issledovaniye reologicheskikh svoystv glinozemistykh shlikerov, soderzhashchikh novyye dispergiruyushchuyu i uprochnyayushchuyu dobavki [Researche of rheological properties of alumina slips containing the new dispersing and hardening additions]. *Zb. nauk. pr. PAT "UKRNDI VOGNETRIVIM. A. S. BEREZHNOGO"* [Coll. Sci. Papers of PJSC "THE URIR NAMED AFTER A. S. BEREZHNOY"]. Kharkov: PAT "UKRNDI VOGNETRIVIM. A. S. BEREZHNOGO" Publ., 2016, no. 116, pp. 98—109 (in Russian).
4. Katalog kompanii "Almatis GmbH" (Germaniya) [Catalog of the company "Almatis GmbH" (Germany)]. URL: <http://www.almatis.com/> (accessed 23.06.2017) (in Russian).
5. Glinozem marki A 16 SG. Katalog kompanii "Almatis GmbH" (Germaniya) [Alumina of the brand A 16 SG. Catalog of the company "Almatis GmbH" (Germany)]. URL: [http://www.almatis.com/media/4015/rp-am\\_001\\_reactives\\_4\\_ceramics\\_0608.pdf](http://www.almatis.com/media/4015/rp-am_001_reactives_4_ceramics_0608.pdf) (accessed 23.06.2017) (in Russian).
6. Glinozem marki A 1000 SG. Katalog kompanii "Almatis GmbH" (Germaniya) [Alumina of the brand A 16 SG. Catalog of the company "Almatis GmbH" (Germany)]. URL: [http://www.almatis.com/media/4015/rp-am\\_001\\_reactives\\_4\\_ceramics\\_0608.pdf](http://www.almatis.com/media/4015/rp-am_001_reactives_4_ceramics_0608.pdf) (accessed 23.06.2017) (in Russian).
7. Bakunov V. S., Balkevich V. L., Guzman I. Ya. et al. *Praktikum po tekhnologii keramiki i ogneuporov* [Practical work on ceramics and refractories technology]. Moscow: Stroiiizdat Publ., 1972, 352 p. (in Russian).
8. Lukin E. S., Andrianov N. T. *Tekhnicheskiiy analiz i kontrol' proizvodstva keramiki* [Technical analysis and control of ceramics production]. Moscow: Stroiiizdat 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).