- Д. т. н. Ф. И. Пантелеенко<sup>1</sup>, Н. А. Шмурадко<sup>1</sup>, В. Т. Шмурадко<sup>1</sup> (⊠), А. Ф. Пантелеенко<sup>1</sup>, к. т. н. В. А. Кусяк<sup>2</sup>, к. т. н. Р. Ю. Попов<sup>3</sup>
  - <sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет (БНТУ), Минск, Республика Беларусь
  - <sup>2</sup> Филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт» (НИПИ), Минск, Республика Беларусь
  - <sup>3</sup> Белорусский государственный технологический университет (БГТУ), Минск, Республика Беларусь

УДК 666.76:669.21/.23

# МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ КЕРАМООГНЕУПОРНЫХ СПЕЦИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДРАГМЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ШЛАМОВ. Сообщение 1.

Проанализирована многоступенчатая принципиальная температурно-временная схема поэтапных химико-термических процессов (ХТП) извлечения драгметаллов из техногенных шламов через расплавы оксидно-щелочных шлаков. На базе алюмосиликатного и магнезито-периклазового техногенного сырья разработаны импортозамещающие технологии создания термокоррозионно-эрозионностойких керамоогнеупорных материалов-изделий (тиглей, шерберов, купелей) для ХТП извлечения драгметаллов.

**Ключевые слова:** химико-термические процессы (ХТП), извлечение драгметаллов, техногенные шламы, активированные высококонцентрированные вяжущие суспензии (АВКВС).

Проблемы получения качественной продукции в металлургических отраслях и металлургии машиностроения тесно взаимосвязаны с разработкой и созданием высококачественных керамоогнеупорных (формованных, неформованных) материалов-изделий из техногенного сырья разного состава. Среди алюмосиликатных огнеупоров в зависимости от содержания в них глинозема выделяются муллитовые, муллитокремнеземистые, муллитокорундовые, высокоглиноземистые корундовые и периклазовые материалы-изделия: пористые — для фурм установок внепечного вакуумирования и фильтрации сталей, для футеровки плавильно-литейных агрегатов, литниковые системы для разливки и дозирования расплавов, в частности профиль-



ные специзделия для химико-термических процессов (ХТП) извлечения драгметаллов из техногенных шламов.

Анализ XTП и механизмов технологического извлечения драгметаллов из техногенных шламов требует разработки специзделий (тиглей, шерберов, купелей) на основе профильных неформованных огнеупоров системы кремнезем – глинозем и материалов на их основе (муллитовых, муллитокремнеземистых, муллитокорундовых и корундовых), а также материалов системы магнезит – периклазошпинелид.

С материаловедческой позиции системнодифференцированной принципиальной блоксхемы состав – структура – свойство – материал проанализированы фазовые диаграммы состояния физико-химических систем SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 1, 2). С учетом эксперимента, используя результаты МРСА и РФА образцов зарубежных аналогов, конкретизированы типы и классы техногенного минерального сырья, принципиальные схемы и подходы, необходимые для создания профильных материалов, технологий и изделий на их основе, обеспечивающих эффективное извлечение драгметаллов [1].



Рис. 1. Диаграмма состояния системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> [5]



Рис. 2. Диаграмма состояния системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>, показывающая конгруэнтное плавление муллита по Арамаки и Рою [3]

Принципиальные схемы создания систем на основе SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> сформированы на базе диаграмм состояния кремнезем – глинозем и показывают образование алюмосиликатов с основными текущими фазами (в зависимости от термодинамических, термобарических и других условий): силлиманит – андалузит (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>), кианит (дистен, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>), прагит (2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>). Эти фазы при определенных температурных условиях переходят в муллит (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>), муллитокремнезем и муллитокорунд [2].

Для анализа физико-химических процессов и механизмов создания алюмосиликатных систем на базе муллита использовали диаграмму состояния SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с массовыми (71,8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 28,2 % SiO<sub>2</sub>) и молярными соотношениями (62 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 38 % SiO<sub>2</sub>) для муллита (см. рис. 1, 2). который кристаллизуется в ромбической сингонии, имеет плотность 3,16 г/см<sup>3</sup> и температуру плавления 1910 °С. Муллит не растворяется в щелочах и кислотах; при образовании твердых растворов в системе SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в муллите составляет 72-78 %. Выше 1585 °С в алюмосиликатной системе образуется некоторое количество жидкой фазы [3].

Диаграммы состояния системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> имеют две особенности (рис. 1-3):

1 — отсутствие точек, линий, определенных максимумов на кривой ликвидуса, которые отмечали бы наличие текущих соединений в системе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. Например, силлиманит образуется в природе при высоком давлении (при обычном давлении неустойчив);

2 — при 1585 °C в системе присутствует некоторое количество жидкой фазы, которое нарастет очень быстро: от 5,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (эвтектика при 1585 °C) до 72 мас. % (состав муллита), что объясняется пологим ходом кривой ликвидуса. Следовательно, количество жидкой фазы напрямую зависит от относительного количественного содержания глинозема и кремнезема в алюмосиликатной системе.

Для получения качественных огнеупорных материалов необходимо в первую очередь обратить внимание на чистоту применяемого техногенного минерального сырья (присутствие примесей) и на изменения, которые происходят в материале и изделиях при термообработке и спекании. Таким сырьем являются огнеупорные глины и каолины, часть из которых сушат для технологической стабилизации объема, а другую часть обжигают (спекают) для получения шамота. В процессе сушки и спекания их общая усадка составляет 15-20 %, поэтому получение изделий с заданными размерами из одних только пластичных глин и каолинов невозможно. Поэтому для компенсации усадки в производстве подобной огнеупорной продукции шихту формируют из пластичной глины и шамота, который можно заменить другим безусадочным компонентом. Причем шамот и его зерновой состав влияют как на усадку изделий, так и на ряд их свойств: плотность, пористость, механическую прочность, термическую и химическую стойкость и др., а также на размер пор, текстуру и структуру материала.

Огнеупорность, термокоррозионно-эрозионная и термическая стойкость — важнейшие свойства алюмосиликатных и других керамоогнеупорных материалов-изделий, которые зависят от общего содержания в них Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, их структуры и количества глинозема в керамической связке. Поскольку расплавы металлургических шлаков, проникая в структуру огнеупора, изначально взаимодействуют со связкой, рекомендуется применять глину с высоким содержанием глинозема.

Огнеупорная основа алюмосиликатных систем — это муллит, его аналоги и твердые растворы с корундом, кристобалитом, а также стеклофаза с высоким содержанием глинозема. В огнеупорных глинах и каолинах содержатся примеси кремнезема (кварца), которые при высоких температурах частично переходят в стеклофазу, кристобалит, а частично остаются в прежнем виде: присутствие Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> значительно замедляет процесс перерождения муллита.

Кристаллическая структура муллита и ее особенности. Структуру муллита можно сравнить со структурой андалузита или силлиманита, имеющей геометрию спаренных цепочек [Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>], в которых Si<sup>4+</sup> частично изоморфно замещен на Al<sup>3+</sup>. Тем не менее, они различаются. Объемная кристаллическая решетка муллита построена на близких количественных группах [AlO<sub>4</sub>] – [AlO<sub>6</sub>] и островных [SiO<sub>4</sub>]. При получении таких групп в исходных соотношениях в расплаве следует обратить внимание на отношение O : Si и присутствующие примеси. Структурная кристаллохимическая формула муллита  $Al_4^{VI}O_3[Al^{VV}Si_2O_5]_2$  или  $Al_4^{VI}[Al^{VV}(Si_2Al^{VV})O_{13}]$ [5]. Кристаллическая решетка муллита содержит дефекты с радиусом около 0,067 нм. В эти дефекты могут внедряться ионы Al<sup>3+</sup> (до 6 %), Ті<sup>4+</sup> (до 1,5 %), Fe<sup>3+</sup> (до 3 %) и др. Если ионные радиусы Al<sup>3+</sup> и Fe<sup>3+</sup> близки, то происходит частичное изоморфное замещение ионов алюминия в решетке ионами железа. В зависимости от температуры обжига (при 1350 °C) Fe<sup>3+</sup> частично входит в решетку муллита, а выше 1350 °C частично выходит за ее пределы. От технологических температурных уровней зависит, какое количество ионов алюминия будет замещено ионами железа. Таким образом, присутствие в кристаллической решетке муллита ионов кальция, магния, калия и натрия недопустимо, поскольку происходит распад муллита с выделением корунда. При этом отдельные кристаллы муллита уже не могут образовывать между собой связи для кристаллохимического восстановления решетки [5].

На рис. З показана диаграмма фазовых равновесных состояний в системе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> в зависимости от температуры на разных текущих термодинамических и физико-химических уровнях, формирующих твердые растворы муллита, его близкие аналоги и продукты фазовых превращений [3].

При разработке профильных спецматериалов-изделий в ряде случаев муллит можно синтезировать в двух кристаллических формах: игольчатой и призматической. Огнеупорность и термостойкость материалов, содержащих игольчатый муллит, выше, чем у материалов, которые содержат короткопризматический муллит,



Рис. 3. Диаграмма состояния системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> по А. С. Бережному с учетом образования твердых растворов в диапазоне концентраций на основе муллита и его диспропорционирования (по термодинамическим параметрам) до фаз Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub> при нормальном давлении [3]: *I* — α-кристобалит + расплав; *II*, *III* — муллитовый твердый раствор + расплав; *IV* — корунд + расплав; *V* — α-кристобалит + муллитовый твердый раствор; *VI* муллитовый твердый раствор; *VII* — муллитовый твердый раствор + корунд; *VIII* — α-кварц + силлиманит; *IX* — силлиманит + корунд; *X* — α-кварц + андалузит; *XII* — β-кварц + андалузит; *XII* — андалузит + корунд; *XIII* β-кварц + кианит; *XIV* — кианит + корунд

при одинаковом химическом составе. Это можно объяснить тем, что игольчатый муллит эффективно армирует стеклофазу. При создании конкретной структурной (кристаллохимической, кристаллографической) формы муллита необходимы определенные исходные и текущие термодинамические и параметрические условия. Для получения муллита призматической формы каолин и глину медленно нагревают до сравнительно невысоких температур. Если операцию нагрева сырья выполнять быстро примерно до 1400 °C, то кристаллическая структура муллита примет игольчатую форму. Встречается и трубчатая форма муллита. Вероятно, она обусловлена термическими напряжениями, возникающими из-за структурного несоответствия кремне- и алюмокислородных тетраэдров. Для муллитовых материалов характерна анизотропия теплового расширения (α<sub>a</sub> = = 5,2, α<sub>b</sub> = 7,1, α<sub>c</sub> = 2,4·10<sup>-6</sup> град<sup>-1</sup> при 298–1098 К); их модуль упругости *E* = 1,5·10<sup>5</sup> МПа; теплопроводность λ<sub>400-1400 °C</sub> = 3,0÷3,5 Вт/(м·К). Это объясняет относительно высокую термостойкость материала [5].

В каолините и в природных глинах присутствуют также примеси (оксиды железа, пирит, кварц, слюда, кальцит, гипс, доломит, анатаз и др.). В расплавах эти примеси содержат ионы Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, которые при взаимодействии с SiO<sub>2</sub> при 1000 °C и выше образуют вязкую жидкость. Эта жидкость не кристаллизуется при охлаждении, а затвердевает в виде стекла. Но при незначительном содержании примесей (2-3 %) они особого влияния на свойства огнеупоров не оказывают.

## Получение материалов – изделий, используемых для извлечения драгметаллов из техногенных шламов

При производстве термостойкой огнеупорной продукции в промышленных масштабах муллитообразующие системы находят широкое практическое применение. Для повышения содержания муллита в шамотных огнеупорах к природному алюмосиликатному сырью добавляют ультрадисперсный активный технический глинозем. Введение реактивного технического глинозема увеличивает в 2-4 раза выход муллита, но при этом возрастает усадка при спекании. Чтобы этого не происходило, используют комплексные добавки, например 40 % технического глинозема и 60-65 % электроплавленого корунда.

Техногенной основой для производства муллитокремнеземистых, муллитовых и муллитокорундовых огнеупоров являются глины, каолиновое сырье, кремнезем, глинозем и корунд. а также минералы силлиманит-андалузитовой группы и гидраты глинозема. Кроме того, осуществляют прямой синтез муллита на основе оксидов кремния и алюминия, в которых проходят профильные кристаллографическиекристаллохимические изменения и физикохимические превращения. B результате взаимодействия глинистого вещества с глиноземом образуются так называемые первичный муллит (при 1100-1300 °С ЗАІ<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub> + 6H<sub>2</sub>O + + 4SiO<sub>2</sub>) и вторичный муллит (при 1300-1500 °C 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>). Интервал образования первичного муллита 1000-1300 °С; его превышение приводит к укреплению кристаллов. Для стабильного температурного образования вторичного муллита необходима температура 1650 °С. Изза увеличения объема прессовки при спекании для вторичного муллита характерно разрыхление структуры. При взаимодействии технического глинозема с минералами силлиманитоандалузитовой группы также образуется первичный и вторичный муллит [5].

Для получения муллитовых и муллитокорундовых материалов-изделий (термо-коррозионноэрозионностойких спецтиглей) с регулируемыми показателями плотности используют схему двухстадийного спекания. Принципиальная схема процесса заключается в раздельном синтезе муллита и изготовлении из него изделий с минеральными добавками по обычной керамической технологии: брикетирование техногенного сырья, спекание при 1600-1700 °С и тонкое измельчение спеченных брикетов, формование изделий, предварительный обжиг (1300 °С) и последующее спекание (1650 °С).

В технологии керамоогнеупоров широко используют активированные высококонцентрированные вяжущие суспензии (АВКВС), представляющие собой дисперсионно-дисперсные системы, нарабатываемые методом сухого и жидкостного помола и диспергирования порошковых систем (композиций): кислых и основных оксидов, алюмосиликатов, глинозема, муллита, корунда, магнезита (периклаза) и др. В керамоогнеупорных технологиях в качестве дисперсионной (помольной) среды используют в основном водные растворы кислот (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), щелочей, солей (MgCl<sub>2</sub>, Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>) и др. Дисперсная составляющая АВКВС включает техногенное минеральное сырье после помола до получения частиц размерами от 0,001-0,1 до 1-5 мкм. В полученную АВКВС вводят керамоогнеупорные порошковые наполнители необходимой зернистости; далее проводят тщательную гомогенизацию, сушку и получают гранулы влажностью 7-15 %.

В процессе помола (истирания) техногенного минерального сырья происходит его поверхностная активация с наработкой и образованием частиц, которые при взаимодействии с дисперсионной средой образуют химическую связку, придающую АВКВС вяжущие свойства. Прессование гранулированных порошковых композиций с АВКВС обеспечивает получение прочных заготовок и изделий с разной плотностью (пористостью) и усадкой при прессовании и спекании. Это в итоге создает условия для получения материалов-изделий с управляемым набором геометрических параметров, а также огнеупорных, физико-механических, физикохимических, эксплуатационных и других показателей.

Помол — диспергирование, активацию модифицирование и создание ABKBC, а на их основе литейных шликеров проводили в аттриторе А-5. Полученные суспензии и отливки имели следующие реологические (структурномеханические) свойства:

– муллит:  $\tau_{\text{помола}}$  16 ч,  $\rho_{\text{mл. мул}}$  2,1–2,3 г/см<sup>3</sup>, pH<sub>мул</sub> 5,5–7,8, BУ 9,6–11 °E,  $\rho_{\text{отл. мул}}$  2,35–2,56 г/см<sup>3</sup>,  $\Pi_{\text{отл. мул}}$  18–20 %,  $\eta_{\text{мул}}$  0,3–0,5 Па·с;

- муллитокорунд: т<sub>помола</sub> 16 ч, р<sub>шл. мк</sub> 2,45-2,5 г/см<sup>3</sup>, рН<sub>мк</sub> 8,7-9,3, ВУ 16-20 °Е, р<sub>отл. мк</sub> 2,55-2,6 г/см<sup>3</sup>, П<sub>отл. мул</sub> 18-21,5 %, <sub>Пмк</sub> 0,25-0,3 Па·с;

40

- корунд:  $\tau_{помола}$  16 ч,  $\rho_{шл. кор}$  2,48–2,63 г/см<sup>3</sup>, pH 1,4–1,6, BY 21–33 °E,  $\rho_{отл. кор}$  2,79–3,1 г/см<sup>3</sup>,  $\Pi_{отл. кор}$  21–27 %,  $\eta_{кор}$  0,27–0,29 Па·с.

Размер частиц в полученных АВКВС и литейных шликерах находился в пределах ультрадисперсного (коллоидного) состояния (0,001-0,5) мкм и микронных диапазонов (1-10) ÷(10-100)÷(100-300) мкм.

Для получения прессовочной шихты смешивали 10-25 % ABKBC, 75-90 % огнеупорного наполнителя (муллита или муллитокремнезема, или корунда, или муллитокорунда) с размерами частиц 60-100, 100-300, 300-1000 мкм (85 %) и 1-1,5 мм (15 %) и 20-25 % (сверх 100 %) воды с разжижителями, обеспечивающими высокие реалогические параметры шликера. В лопастном смесителе в течение 1-3 ч (и более) проводили стабилизацию шликера до достижения его влажности 15-25 %. Для получения гранул влажность шликера снижали до 7-12 % в сушильном шкафу при 100-110 °С в течение 3 ч. Экспериментальные образцы прессовали на гидравлическом прессе в диапазоне 50-300 МПа с интервалом 50 МПа. На рис. 4 показаны зависимости плотности образцов из кремнезема, глинозема и муллита от давления прессования.

Экспериментальные образцы спекали по температурно-временному режиму, показанному на рис. 5:



Рис. 4. Зависимости плотности  $\rho$  образцов из кремнезема, глинозема (корунда), муллита и их композиций от давления прессования  $P: 1 - \rho_{\rm sp} = 2,2$  г/см<sup>3</sup>;  $2 - \rho_{\rm xop} =$ = 4 г/см<sup>3</sup>;  $3 - \rho_{\rm мул} = 3,2$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{3-1} = 3 \div 2,2$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{3-2} =$ = 3,2÷3,8 г/см<sup>3</sup>; 3-1 — область формирования кажущейся плотности ( $\rho_{\rm M-Rp}^{\rm KAR}$ ) для муллитокремнеземистых материалов – изделий; 3-2 — область формирования  $\rho_{\rm M-Rp}^{\rm KAR}$ муллитоглиноземистых (корундовых) материалов – излелий

25<sup>5</sup> \*С/мин 1000<sup>1</sup> \*С/мин 1000<sup>1</sup> \*С/мин 30 мин 1000<sup>1</sup> \*С/мин 30 мин 1200<sup>0</sup> \*С/мин 1200<sup>0</sup> \*С/мин 1200<sup>1</sup> \*С/мин 1200<sup>1</sup> \*С/мин 1200<sup>1</sup> \*С/мин 1200<sup>1</sup> \*С/мин 100 \*С/мин

Согласно интегральной кривой 1 (см. рис. 5), скорость подъема температуры составляла 1,55 °С/мин, для дифференцированной кривой спекания скорость подъема температуры определялась согласно термодинамическому анализу физико-химических состояний алюмосиликатных систем SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Охлаждение спеченных экспериментальных образцов материала-изделия проводилось в заданном режиме охлаждения камеры печи.

На рис. 6 и 7 показаны схемы конструкции технологической оснастки для изостатического прессования алюмосиликатных тиглей, предназначенных для извлечения драгметаллов из техногенных шламов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ технологических процессов и механизмов высокотемпературного химикотермического извлечения драгметаллов из техногенных шламов на базе профильных алюмосиликатных и магнезитопериклазовых формованных материалов-изделий (тиглей, шерберов, купелей).

• Определено алюмосиликатное и магнезитопериклазовое техногенное минеральное сырье, необходимое для разработки и создания



Рис. 5. Температурно-временной режим спекания алюмосиликатных экспериментальных образцов; 1 и 2 — соответственно интегральная и дифференциальная кривые спекания

профильных тиглей (двух типоразмеров), шерберов и купелей.

• Разработана конструкторская документация на пресс-формы, изготовлена технологическая оснастка для изостатического прессования профильных тиглей двух типоразмеров; изготовлены и проведены их испытания.

В следующем сообщении будет предоставлена информация по изготовлению керамоогнеу-

## научные исспедования и разработки



Рис. 6. Схема технологической оснастки (а) для изостатического прессования профильных керамоогнеупорных тиглей (б, в): 1 — оправка формообразующая; 2 — пресс-оболочка эластичная; 3 — пресс-элемент; 4 — засыпка из огнеупорного порошка; 5 — заготовка спрессованного тигля; h, l, Ø, R — размеры пресс-формы для формования тиглей



заготовки термокоррозионно-эрозионно-стойких тиглей для ХТП извлечения драгметаллов (б-г)

порных материалов-изделий (шерберов, купелей) из магнезитопериклазового минерального сырья для завершающего технологического этапа извлечения драгметаллов из техногенных шламов.

### Библиографический список

1. Разработка и исследование физико-химических процессов и механизмов технологического структермокоррозионно-эрозионностойких турирования огнеупорных материалов-изделий для металлургии черных и цветных металлов : отчет о НИР (годовой) / БНТУ ; рук. Ф. И. Пантелеенко ; отв. исполн. : В. Т. Шмурадко [и др.]. — Минск, 2022. — 25 с.

2. Карклит, А. К. Огнеупоры для вакуумных металлургических агрегатов / А. К. Карклит, В. А. Орлов, А. *Н. Соколов* [и др.]. — М. : Металлургия, 1982. — 144 с.

3. Strelov, K. K. Phase diagram of the system Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>O<sub>2</sub> / K. K. Strelov, I. D. Kashcheev // Refractories. - 1995. - Vol. 36, № 8. - P. 244-246. https://doi.org/10.1007/ BF02227394.

Стрелов, К. К. Диаграмма состояния системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> / К. К. Стрелов, И. Д. Кашеев // Огнеупоры. - 1995. - № 8. - C. 11-14.

4. Кащеев, И. Д. Особенности синтеза муллита в зависимости от размера зерен Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub> / И. Д. Кащеев, Т. И. Назарова // Огнеупоры. — 1993. — № 9. — С. 13.14.

5. Стрелов, К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. — М. : Металлургия, 1985. — 480 с. ■

> Получено 12.03.24 © Ф. И. Пантелеенко, Н. А. Шмурадко, В. Т. Шмурадко, А. Ф. Пантелеенко, В. А. Кусяк, Р. Ю. Попов, 2024 г.

#### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Tecna 2024 — 28-я международная выставка технологий и оборудования для керамической промышленности to make it Rimini Expo Centre - Italy 24 – 27 SEPTEMBER 2024 Секторы выставки: 1. Сырье и массы, изделия и химические добавки 12. Лабораторное и измерительное оборудование Добыча и подготовка сырья 13. Защита окружающей среды, очистка 3. Прессование, формование и литье промышленных стоков 4. Сушка, обжиг и тепловые системы 14. Устройства безопасности 5. Глазури и краски 15. Приспособления для применения сжатого 6. Изделия и оборудование для шелкографии, воздуха, электричества, электронной и нагредеколей и глазурования вательной системы 7. Декалькомания и художественное оформление 16. Огнеупорные материалы, ролики, фурнитура 8. Обработка и хранение и плиты 9. Сортировка, упаковка и паллетизация 17. Инструменты, запасные части и принадлеж-10. Качество и управление производственным ности процессом 18. Разное, проектирование, консультационные 11. Обработка поверхности, инструменты для услуги издательства, торговые ассоциации, окончательной обработки и принадлежности различные организации