

Д. Т. Н. Ю. Е. Пивинский<sup>1</sup> (✉), Е. М. Гришпун<sup>2</sup>, А. М. Гороховский<sup>2</sup><sup>1</sup> ООО «НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> ОАО «Динур», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

УДК 666.974.2:666.762.21.001.8

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОИЗВОДСТВО И СЛУЖБА ФОРМОВАННЫХ И НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ НА ОСНОВЕ ВКВС\*

Проанализирован многолетний опыт разработки и развития промышленных технологий, позволивших осуществить широкомасштабное производство эффективных для потребителя и высоко rentабельных для производителя формованных и неформованных огнеупоров, получаемых на основе ВКВС как плавленного кварца, так и высокоглиноземистых составов. Еще задолго до современного нанобума в технологии материалов, получаемых на основе ВКВС, были реализованы элементы нанотехнологий, обусловившие высокую технико-экономическую эффективность новой продукции. Рост объема товарной продукции (ТП) этих огнеупоров, производимых в ОАО «Динур», в 2014 г. по сравнению с 2013 г. увеличился на 55 %. В I квартале 2015 г. рост ТП по сравнению с аналогичным периодом 2013 и 2014 гг. увеличился в 2,7 и 2,0 раза соответственно. Почти за три десятилетия применения этих технологий в ОАО «Динур» произведено около 180 тыс. т высокорентабельных огнеупоров, что по современным ценам составляет около 12 млрд руб. ТП.

**Ключевые слова:** ВКВС, керамобетоны, плавеный кварц, кварцевая керамика и огнеупоры, жемлобные массы, высокоглиноземистые огнеупоры, набивные массы, товарная продукция (ТП), наночастицы, нанотехнологии.

**В** публикации 2007 г. [1], приуроченной к 75-летию ОАО «Динур», отмечалось, что в 90-е годы прошлого века в результате рыночных реформ и в силу не зависящих от завода причин он обвально (в 5–6 раз) терял объем производства своей основной почти монопродукции — динаса. Между тем в последующие годы, уже XXI века, обвал производства динаса еще больше увеличился и в настоящее время составляет менее 10 % от уровня 80-х годов прошлого века. Столь существенное падение заказов на динас привело к тому, что в настоящее время в работе находится только одна туннельная печь, эксплуатируемая с двукратным увеличением продолжительности режима обжига (вследствие дефицита загрузки). Совершенно очевидно, что при таких объемах и условиях эксплуатации производство динаса на заводе является убыточным.

Вследствие изложенных обстоятельств для своего выживания завод был обязан найти достойный выход из создавшегося положения. Задача состояла в создании и освоении новых

технологий, позволяющих производить в больших объемах востребованную и рентабельную продукцию. В значительной степени эта цель была достигнута за счет разработки и широкомасштабного производства в ОАО «Динур» различных видов формованных и неформованных огнеупоров, получаемых на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС) [1–15].

### Истоки новых технологий и направления их диверсификации

Хронологический аспект исследовательских и инновационных разработок, приведших к фор-



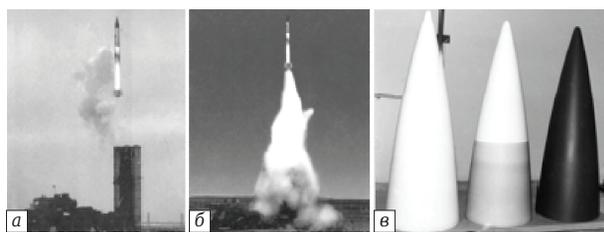
А. М. Гороховский, Ю. Е. Пивинский, Е. М. Гришпун (слева направо) на Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (2007 г., г. Москва)

\* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (19–20 марта 2015 г., Москва).



Ю. Е. Пивинский

E-mail: pivinskiy@mail.ru



**Рис. 1.** Пуск зенитных управляемых ракет типа С-300 (а, б), снабженных головными антенными обтекателями, изготовленными из кварцевой керамики (в)

мированию и практической реализации нового технологического направления в области силикатного материаловедения (ВКВС и керамобетоны), детально и поэтапно проанализирован в ряде публикаций последнего десятилетия [1–5, 16, 17]. Фундаментальная основа этих технологий заложена в разработках технической керамики на основе кварцевого стекла, названной кварцевой керамикой [2, 3, 18, 19].

После известного Карибского кризиса в 60-е годы прошлого века для нашей страны наступил период холодной войны с США. Поэтому в связи с гонкой вооружений и исключительной важностью оборонной проблемы по созданию ракет нового поколения в бывшем СССР в те годы были начаты интенсивные исследовательские и конструкторские разработки в области создания жаростойких материалов для их использования в производстве обтекателей ракет. Применительно к существовавшим в те годы «тихоходным» ракетам (скорость полета до 2–3 махов) использовали стеклопластиковые обтекатели. Для создаваемых высокоскоростных ракет со скоростью полета до 8–9 махов необходимо было создать принципиально новый жаростойкий неорганический и термостойкий материал, способный выдерживать нагрев за счет аэродинамического сопротивления до 1500–2000 °С за несколько секунд. С учетом минимального теплового расширения кварцевого стекла предполагали, что только такой материал может выдержать жесточайший термоудар, которому подвергается обтекатель при полете высокоскоростных ракет.

Для изготовления заготовок обтекателя ракет была разработана керамическая технология получения изделий из прозрачного кварцевого стекла, предусматривающая его дробление и мокрое измельчение при пониженной влажности, шликерное литье и обжиг изделий при условиях, исключающих образование в них кристобалита [18, 19].

В разработанной технологии технической кварцевой керамики необычной особенностью оказалась высокая степень уплотнения материала уже на стадии получения суспензии

и формования (пористость отливки 10–13%). Столь низких значений пористости исходного полуфабриката в те годы не было получено ни на одном материале, в том числе при прессовании при сверхвысоких давлениях. Если обычно основная стадия уплотнения керамики достигалась в процессе спекания, то в новой технологии основную стадию уплотнения в значительной мере удалось как бы перенести на процессы получения суспензий и формования. Благодаря этому впервые удалось получить высокоплотную прочную керамику при низких значениях усадки и температуры спекания [18, 19]. Это, в свою очередь, позволило избежать неблагоприятного эффекта кристобалитизации керамики.

Применительно к технологии обтекателей исключительно важным оказался тот факт, что требуемые показатели их пористости (<10%) и предела прочности при изгибе (40–50 МПа) достигались при температуре обжига 1240–1260 °С. При этом усадка при спекании не превышает 0,5–0,7% [2]. Таким образом, разработанная еще в конце 60-х годов прошлого века технология кварцевой керамики оказалась идеальной для производства заготовок ракетных обтекателей и продолжает применяться до настоящего времени [2, 3, 20]. Головными антенными обтекателями на основе кварцевой керамики снабжены, например, зенитные управляемые ракеты типа С-300 (рис. 1), которые «охраняют не только рубежи России и стран СНГ, но и многих других стран» [2, с. 27].

Важной особенностью отливок, полученных по этой технологии, является их высокая механическая прочность в высушенном состоянии, что дало основание классифицировать исходные суспензии как керамические вяжущие, или ВКВС [21, 22]. В дальнейшем была показана возможность получения подобных суспензий и применительно к другим оксидным и силикатным материалам [2, 3, 21]. Полученные при этом ВКВС, или искусственные керамические вяжущие [23, 24], оказались эффективными при получении бесцементных огнеупорных бетонов, которые были названы керамобетонами [25].

Как показано в обобщающей статье [16], в последние годы достаточно многие специалисты в области силикатного материаловедения осознают, что в технологии материалов, получаемых на основе ВКВС еще в 60–80-х годах прошлого века, были реализованы элементы нанотехнологий. Еще во второй половине 60-х годов прошлого века в работах по технологии кварцевой керамики [18, 19] эффект достижения высокой механической прочности отли-

вок (вязущие свойства суспензий) объяснялся «наработкой» при мокром помоле плавленного кварца кремниевой кислоты и мельчайших частиц кремнезоля, т. е. частиц коллоидной дисперсности (уровень современных наночастиц). Если во всех известных предшествующих исследованиях, касающихся получения кварцевой керамики, для повышения прочности отливок в состав суспензий вводили кремнеземсодержащие связки (типа кремнезоля, кремниевой кислоты или этилсиликата), то в технологии ВКВС неизмеримо более эффективные связки как бы синтезировались непосредственно в процессе мокрого помола благодаря предельной концентрации и повышенной температуре, способствующей растворению  $\text{SiO}_2$  [2, 5, 16, 21]. При этом в процессе получения ВКВС образовывались не только некоторое количество кремниевой кислоты, но и мельчайшие частицы кремнезоля, полученного методом диспергирования ( $< 0,3$  мкм), названные «коллоидным компонентом» [21]. В те времена не существовала система СИ и поэтому не было ни нанометров, ни нанотехнологий. Но, возможно, именно в этих и последующих технологиях были впервые реализованы некоторые элементы нанотехнологий, лежащих в основе керамических вязущих, или ВКВС. Независимо от вида исходного материала (кремнезем, алюмосиликаты, оксиды и их смеси, силикатные стекла) для получения ВКВС их вязущие свойства определяются преимущественно незначительным по массе, но существенным по вкладу в общую удельную поверхность твердой фазы содержанием ультрадисперсных частиц (наночастиц), нарабатываемых в процессе мокрого помола и последующей стабилизации в условиях предельного концентрирования системы [2, 5, 16].

История развития технологий материалов на основе ВКВС за весь предшествующий почти 50-летний период свидетельствует о том, что каждый из этапов ее продвижения сопровождался упреждающим созданием реальных изобретений и реализацией соответствующих технико-экономических инноваций. Так, для того, чтобы раздвинуть рамки технологии от технической кварцевой керамики (очень дорогие материалы и изделия для ракетно-космической техники) до огнеупоров аналогичного химического состава с такой же высокой термостойкостью, нужно было решить проблему — как увеличить объемы производства в тысячи раз, а себестоимость материалов снизить в сотни раз [2, 5]. Каким же образом была решена эта задача, позволившая создать огнеупоры, присутствующие на сверхконкурентном рынке уже более 40 лет?



Рис. 2. Блок плавленного кварца, полученный на плазменном реакторе

Исходя из принципа разумной достаточности, в допустимых пределах были снижены требования к чистоте исходного сырья (содержание примесей); был разработан и внедрен принципиально новый плазменный реактор для получения плавленного кварца (рис. 2), что в сумме уменьшило стоимость сырья в 50–100 раз. Были сконструированы, изготовлены и освоены шаровые мельницы с 20–30-кратным увеличением рабочего объема. При этом их футеровка из плавленного кварца была заменена на высокоглиноземистую, что повысило ее стойкость с 10–12 до 500–600 помолов. Мелющие тела из прозрачного кварцевого стекла были заменены на высокоглиноземистые, которые в 10 раз дешевле и ускоряют помол в 3 раза. Таким образом, и на стадии получения ВКВС было достигнуто 100-кратное удешевление процесса. Был разработан принципиально новый метод формования — центробежный [26–28], позволивший сократить продолжительность процесса от 20 ч до 20 мин, а срок службы форм увеличить в тысячи раз. Затем была разработана керамобетонная технология огнеупоров, что позволило уменьшить расход ВКВС почти в 2 раза. При этом была не только значительно снижена их себестоимость, но и повышена стойкость в службе [1, 2, 4, 5]. Кроме того, были значительно снижены энергозатраты, связанные с сушкой и обжигом. На протяжении всех 40 лет технология совершенствовалась и, как отмечено в статье [17, с. 63], превосходит технологию производства ракетных обтекателей, которая по основным параметрам осталась «замороженной» на уровне конца 70-х годов прошлого века.

Столь же существенные разработки и инновации были осуществлены в процессе создания многообразных формованных и неформованных керамобетонов, получаемых на основе ВКВС высокоглиноземистого состава [1, 4, 9]. Объем

производства этих огнеупоров в ОАО «Динур» многократно превышает производство кварцевых огнеупоров. Следует отметить, что первые опытные работы по получению керамобетонов на Первоуральском динасовом заводе (ПДЗ) относятся еще к началу 80-х годов прошлого века. Так, опытно-промышленные партии керамобетонных блоков динасового состава, изготовленные как на ПДЗ, так и на опытном заводе Восточного института огнеупоров, были успешно испытаны в нагревательных колодцах ЧМЗ и НТМК [21, с. 249; 29, с. 213].

**Кварцевые огнеупоры (кварцевая керамика)**

С начала 70-х годов прошлого века практически монопольным производителем кварцевых сталеразливочных огнеупоров в СССР являлся Подольский завод огнеупорных изделий (ПЗОИ) [2, 3].

На ПДЗ опытные работы по получению кварцевых огнеупоров были начаты в середине 80-х годов в связи с заданием Минчермета СССР по выпуску оболочек роликов печей типа тандем, применяемых на НЛМК и ЧерМК для термообработки (отжига) специальных марок листовой стали. На таких печах, поставляемых французской фирмой, ранее эксплуатировались импортные огнеупоры марки Масрок (Masrock). Оболочки роликов характеризовались значительно большими, чем сталеразливочные трубы и стаканы, габаритными размерами — длиной до 1800, диаметром до 230 мм при массе до 100 кг с высокой точностью размеров. В связи с этим резко усложнялась технология их производства. Попытки изготовления на ПЗОИ подобных изделий еще в начале 80-х годов ввиду их сложности, так же как и попытки применения на ПДЗ существовавшей



**Рис. 3.** Оболочки роликов печей для термообработки специальных марок листовой стали, полученные на основе ВКВС плавленного кварца центробежным методом

в те годы технологии кварцевых огнеупоров, оказались безуспешными.

В самом начале этих работ применяли принципиально новый для керамики и огнеупоров способ формования — центробежный с использованием металлических форм [27]. Использование для этой цели относительно низкоконцентрированных суспензий плотностью 1,72–1,76 г/см<sup>3</sup> (как на ПЗОИ) не позволяло получить полуфабрикат пористостью 25–27%. Спекание последних даже при относительно низких температурах приводило к 100%-ному браку. За весь 1986 г. интенсивной работы не было получено ни одного годного изделия. Ситуация резко изменилась после того, как в конце 1986 г. лабораторией Ю. Е. Пивинского в ВИО совместно с сотрудниками ПДЗ были начаты работы по внедрению технологии получения ВКВС кварцевого стекла с последующей термообработкой (800–1000 °С) или гидротермальной обработкой изделий в паровом автоклаве [6]. Уже в 1987 г. проблема производства роликов в СССР была решена (рис. 3), а их стойкость была выше, чем у импортных изделий. Постепенно стали осваивать производство более массовой продукции — погружаемых стаканов и защитных труб по центробежной технологии. По сравнению с процессом литья в гипсовые формы на ПЗОИ в условиях крупномасштабного производства этот метод оказался исключительно эффективным — продолжительность формования сократилась в 50–70 раз, а срок службы форм — в сотни и тысячи раз [1, 2, 4, 8].

Между тем следует отметить, что в первые годы освоения технологии кварцевых огнеупоров на ПДЗ эта продукция не считалась перспективной. Это объясняли тем, что еще в середине 80-х годов прошлого века ведущими специалистами ВИО и ВПО «Союзогнеупор» Минчермета СССР разрабатывались планы перспективного развития огнеупорной отрасли страны. Был разработан прогноз вплоть до 2000 г. В области сталеразливочных огнеупоров для МНЛЗ, следуя общемировой тенденции, бесспорный приоритет был отдан корундографитовым огнеупорам. Доля кварцевых огнеупоров в общем объеме их потребления в этом классе к концу 90-х годов, согласно прогнозу, должна быть уменьшена до 10–20%. Эту точку зрения на ПДЗ не разделяли и еще в конце 80-х годов составили свой план развития этого производства. Производя тогда только 150–200 т этой продукции в год, собирались уже к 1995 г. увеличить годовой объем до 5000 т. Несмотря на столь амбициозные планы этот прогноз развития ситуации оказался вер-

нее, хотя на максимальный объем ПДЗ вышел хоть и не в 1995 г., то в 2006 г.

В связи с создавшейся на ПДЗ экономической ситуацией резкий рост объема производства кварцевых огнеупоров отмечен уже в первой половине 90-х годов. Это было обусловлено не только необходимостью производства высокорентабельной продукции (кварцевые огнеупоры в это время были основными кормильцами завода), но и возрастающей потребностью в этой продукции ПДЗ. Уже в середине 90-х годов эти огнеупоры ПДЗ по своим эксплуатационным характеристикам заметно превосходили аналогичные изделия ПЗОИ [1–4]. В итоге этот завод не выдержал конкуренции и прекратил производство кварцевых огнеупоров в начале 2000-х годов [2].

В области сталеразливочных кварцевых огнеупоров принципиально важным достижением 90-х годов явилась разработка технологии центробежного формования огнеупоров с керамобетонной структурой [1–5, 28]. При этом удалось получить относительно равномерную по толщине изделия структуру при содержании крупной фракции (0,1–2,0 мм) до 50–60%. Такой среднезернистый бетон характеризуется пониженной пористостью и тонкокапиллярной структурой. Параллельно с этим себестоимость изделий была снижена за счет использования эффекта введения при мокром помоле слива (отхода производства центробежного формования). Это позволило не только эффективно использовать отходы, но и значительно (в 1,5 раза) ускорить процесс мокрого помола и повысить плотность суспензии до 1,93 г/см<sup>3</sup>.

Использование этой технологии при получении кварцевых огнеупоров определяет как значительные ее экономические преимущества, так и повышенную стойкость изделий в службе. В настоящее время 100% всех погружаемых стаканов и защитных труб в ОАО «Динур» производится по лицензионному соглашению с НВФ «Керамбет-Огнеупор» по керамобетонной технологии. Окончательный перевод производства кварцевых огнеупоров на эту технологию осуществлен в 2014 г., что и обусловило существенный (на 89%) рост объема товарной продукции в 2014 г. по сравнению с 2013 г. (рис. 4). Основополагающие данные по технологии производства и эксплуатации кварцевых огнеупоров приведены в многочисленных публикациях [1–6, 26–28].

О значительном и пока еще не реализованном ресурсе кварцевых огнеупоров свидетельствует вывод в статье, посвященной сопоставительным промышленным испытаниям в службе на НТМК кварцевых керамобетонных стаканов

ТП, млн руб./6 мес

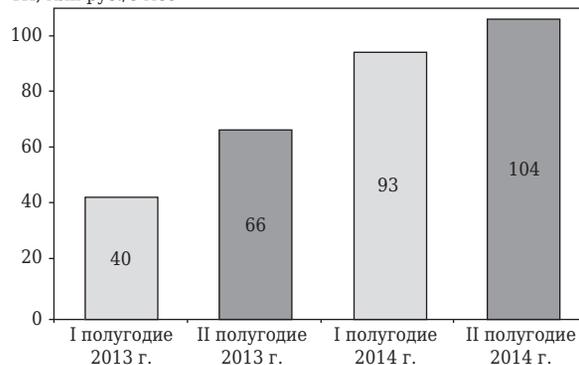


Рис. 4. Динамика роста объема ТП в производстве кварцевых сталеразливочных огнеупоров в 2013 и 2014 г.



Рис. 5. Кварцевая защитная труба в эксплуатации на ММК

и аналогичных корундографитовых изделий фирмы «Везувиус», проведенным еще в 1997 г.: «При разливке стали с содержанием марганца 0,8–1,0% на четырехручьевой МНЛЗ стойкость кварцевых прямоточных стаканов достигла 7–8 плавов, или 270–310 т стали. При разливке стали на двухручьевой МНЛЗ стойкость глухонных стаканов составила 6–8 плавов, или 500–600 т стали. При разливке стали, раскисленной алюминием, стойкость кварцевых стаканов превысила стойкость корундографитовых [4, с. 595–606].

Аналогичный вывод сделан и в статье [15], посвященной сопоставительным испытаниям керамобетонных кварцевых защитных труб и аналогичных корундографитовых изделий фирмы «Везувиус», проведенным на НЛМК в 2004 г. В зависимости от марок разливаемой стали стойкость кварцевых труб колебалась в пределах от 466 до 1406 т стали, или от 3 до 9 плавов. Средняя их стойкость оказалась на 15% выше, чем стойкость труб фирмы «Везувиус». Следует отметить, что максимальную

долю производимых в ОАО «Динур» кварцевых защитных труб потребляет ММК (рис. 5).

### Керамобетоны высокоглиноземистого и других составов

Характерным примером, показывающим высокую эффективность технологий ВКВС в производстве как формованных, так и неформованных огнеупоров, является производство на ПДЗ керамобетонов в системах  $Al_2O_3-SiO_2$ ,  $Al_2O_3-SiO_2-SiC$ ,  $Al_2O_3-SiO_2-SiC-C$  [4, 5, 9–14, 30, 31]. С учетом того, что производство различных видов огнеупоров аналогичного состава на предприятиях России было уже широко распространено, при выборе этого направления исходили из следующего. Была поставлена задача создания такой технологии, которая обеспечила бы более высокий технико-экономический уровень, а соответственно, и конкурентоспособность огнеупоров этого класса. В частности, к середине 90-х годов прошлого века в России остро ощущался дефицит высококачественных неформованных огнеупоров и сложнофасонных изделий высокоглиноземистого состава. Предполагали, что получение эффективных огнеупоров этого класса может быть осуществлено на основе принципов технологий керамобетонов при использовании сырьевых материалов соответствующего химического состава. Относительно быстрой реализации этих планов на ПДЗ помог значительный заводской опыт по аналогичной технологии кварцевой керамики.

В качестве базового материала для получения высокоглиноземистых ВКВС и керамобетонов был принят обожженный китайский боксит, характеризующийся достаточно высоким (до 88–90 %) содержанием  $Al_2O_3$ . Однако вплоть до этих работ было известно, что ввиду наличия значительных примесей огнеупорные изделия или бетоны на основе китайских бокситов характеризуются низкими показателями температуры деформации под нагрузкой ( $T_d = 1370 \div 1440$  °С) [32]. Ввиду этого и цена 1 т боксита на мировом рынке в 90-е годы не превышала 100 долл. США, что, например, в 5–6 раз ниже цены более чистого андалузита (59–60 %  $Al_2O_3$ , 38–39 %  $SiO_2$ ) с  $T_d = 1540 \div 1650$  °С [32]. С учетом изложенного сущность задачи состояла в том, чтобы с использованием дешевого сырья (боксита) получить материалы с существенно улучшенными термомеханическими, а соответственно, и эксплуатационными характеристиками. В частности, была предпринята попытка получить из бокситов огнеупоры с  $T_d$ , аналогичной  $T_d$  огнеупоров из чистого или дорогого сырья (андалузит, муллит, муллитокорунд). В соот-

ветствии с этим замыслом еще во второй половине 90-х годов прошлого века нами было предложено, исследовано и реализовано [2, 4, 5, 7, 16] новое технологическое решение, позволившее применительно к производству всех высокоглиноземистых керамобетонов решить достаточно амбициозную задачу — на основе дешевого сырья получить высококачественные материалы. Сущность решения задачи состояла в том, что при получении ВКВС боксита в состав последней в качестве дополнительного компонента вводили 10–12 % высокодисперсного кварцевого стекла (ВДКС). При этом ВКВС в состав мелющей загрузки при мокром помоле вводили или в виде «слива» — отхода производства кварцевых огнеупоров центробежного формования, или в виде предварительно полученной высокодисперсной суспензии ( $d_{max} = 30 \div 40$  мкм) плавленного кварца. С учетом эффекта селективного измельчения [4, 7] в конечной суспензии подобного состава размер частиц ВДКС не превышает 2–3 мкм, а значительная их доля (до 5–10 %) находится в нанодисперсном состоянии. С учетом того что мокрый помол ВКВС боксита и ВДКС осуществляется в щелочной области pH, возрастает и доля растворимого кремнезема, как наиболее активного в отношении проявления вяжущих свойств суспензий коллоидного компонента.

Уже на начальной стадии разработки и реализации этой идеи была обнаружена весьма важная технологическая особенность. В отличие от метода помола с постадийной (и поэтому технологически весьма неудобной) загрузкой, применявшейся при помоле ВКВС на основе боксита, при введении ВДКС последние были получены при одностадийной загрузке, значительно сократив при этом продолжительность мокрого помола [1, 2, 4, 7]. Наряду с этими преимуществами была достигнута основная цель идеи — улучшение термомеханических характеристик керамобетонов. И достигнут этот эффект благодаря следующему. В процессе обжига (изделий) или высокотемпературной службы (неформованных огнеупоров) при достижении температуры 1200–1250 °С в материале матричной системы на основе ВКВС, содержащей ВДКС, протекает процесс мулитообразования, сопровождающийся ростом объема. Благодаря этому компенсируются обычно наблюдаемые при этих температурах усадочные эффекты. В зависимости от вида, содержания и соотношения огнеупорных заполнителей (боксит, электрокорунд, карбид кремния) применение ВКВС композиционного состава (боксит + ВДКС) позволило повысить  $T_d$  до 1600–1680 °С, т. е. до  $T_d$  огнеупоров мул-

литового и муллитокорундовых составов, полученных с использованием чистых и дорогих исходных материалов.

Благодаря разработке ВКВС композиционного состава (боксит + ВДКС) была реализована технология высокоэффективных высокоглиноземистых материалов различных классов, как формованных, так и неформованных. При этом кроме известных процессов виброформования впервые были разработаны новые методы формования и укладки керамобетонов — статическое прессование и вибротрамбование (набивка), торкретирование. В отличие от новых огнеупорных зарубежных бетонов, для производства которых необходимы все более чистые и дорогие синтетические материалы, в технологии керамобетонов проблема повышения стойкости огнеупоров решена с применением традиционных и относительно дешевых сырьевых материалов. Последнее достигается спецификой технологии, позволяющей получать огнеупоры с повышенной плотностью и тонкокапиллярной структурой, непроницаемой для расплавов.

Почти за 20-летний период освоения технологии высокоглиноземистых керамобетонов, производимых согласно лицензионному соглашению с НВФ «Керамбет-Огнеупор», на специально созданных участках завода (рис. 6) было освоено широкомасштабное производство многих видов как формованных, так и неформованных огнеупоров (масс для изготовления и ремонта монолитной футеровки). С учетом специфики технологии и областей применения эти огнеупоры можно классифицировать на несколько групп:

1 — огнеупорные массы для изготовления и ремонта монолитной футеровки (виброналивные и пластифицированные набивные массы для желобов доменных печей и других тепловых агрегатов), торкрет-массы для их ремонта;

2 — виброформуемые крупногабаритные фасонные огнеупоры — гнездовые блоки промежуточных и сталеразливочных ковшей, горелочные камни, перегородки, «бойные» плиты промежуточных ковшей и др.;

3 — прессованные огнеупоры на основе ВКВС и различных огнеупорных заполнителей. Наиболее распространенными являются огнеупоры марок МКТП-85, МКБУ-80 и другие, применяемые для футеровки тепловых агрегатов, в том числе миксеровозов.

Технология высокоглиноземистых керамобетонов на ПДЗ впервые была реализована применительно к производству гнездовых блоков промежуточных ковшей в 1996 г. [4]. Последние были отформованы как вибромето-



Рис. 6. Производственный участок по получению керамобетонных масс

дом (с применением пригруза), так и статическим прессованием на фрикционных прессах. Стойкость в службе этих изделий оказалась сопоставимой со стойкостью аналогичных импортных корундовых блоков. В 1997 г. кроме гнездовых блоков были получены первые партии огнеупорных набивных масс для монолитной футеровки желобов печей. Первые партии виброналивных желобных масс были получены в конце 1998 г. При этом срок их эксплуатации без капитального ремонта на НТМК достигал нескольких лет [1].

Следует отметить, что уже первые партии набивных желобных масс, испытанных на НТМК при ремонте футеровки, оказались более эффективными, чем аналогичные массы фирмы «Плибрико», которые раньше производились на ПДЗ. В дальнейшем были разработаны как новый состав керамобетонов (оксидно-карбидный), так и новая технология его виброукладки. При этом в качестве заполнителя стали применять электрокорунд и карбид кремния, что позволило повысить стойкость виброналивной футеровки желоба (до первого ремонта) до 140 тыс. т. В дальнейшем были разработаны оксидно-карбидно-углеродистый керамобетон и технология его применения. При этом стойкость до первого ремонта была повышена до 200–250 тыс. т чугуна. В 2002 г. на одном из желобов третьей доменной печи НТМК была достигнута рекордная стойкость футеровки до первого ремонта — 305 тыс. т ванадиевого чугуна [1, 4, с. 647].

Между тем с технико-экономической точки зрения наиболее эффективными среди неформованных огнеупоров оказались изготавливаемые в больших объемах желобные набивные массы [1, 4, 9–14]. В табл. 1 по данным [31] охарактеризованы показатели службы керамобетонных набивных желобных масс в системе  $Al_2O_3-SiO_2-SiC-C$  на ряде ведущих металлургических предприятий РФ. Эти массы применяют для набивки не только транспортных и

Таблица 1. Показатели службы керамобетонных набивных желобных масс

Предприятие-потребитель	Зона применения	Средняя стойкость между ремонтами, т чугуна	Удельный расход желобной массы, кг/т чугуна
<b>НЛМК:</b>			
ДП-4 (2000 м <sup>3</sup> )	Главный желоб, транспортные и качающиеся желоба, набивка футляра, скиммерных плит, перевалов, носков	35000–40000	Главный желоб 0,42–0,54* <sup>1</sup> Транспортные желоба 0,04–0,11
ДП-5 (3200 м <sup>3</sup> )	Транспортный желоб, набивка футляра, скиммерных плит, перевалов, носков	Используется как ремонтная масса	Транспортные желоба 0,04–0,11
ДП-6 (3200 м <sup>3</sup> )	Главные, транспортные и качающиеся желоба, набивка футляра, скиммерных плит, перевалов, носков	35000–40000	Главные желоба 0,42–0,54* <sup>1</sup> Транспортные желоба 0,04–0,11
<b>НТМК (ванадиевый чугун):</b>			
ДП-5 (2200 м <sup>3</sup> )	Транспортные желоба	250000–270000	0,08–0,12
ДП-6 (2200 м <sup>3</sup> )	Качающиеся желоба	Как ремонтная масса, 50000–70000	0,15–0,17
<b>ЗСМК:</b>			
ДП-1, ДП-2, ДП-3 (2200–3600 м <sup>3</sup> )	Как ремонтная масса в транспортных желобах, а также для набивки футляра, перевалов чугуна и шлака, скиммерной плиты	–	0,10–0,12* <sup>2</sup>
<b>ЧМК:</b>			
ДП-1, ДП-4, ДП-5	Транспортные желоба	–	0,08–0,12
* <sup>1</sup> С горячим ремонтом торкретированием массой ВГМТ-16. * <sup>2</sup> С горячим ремонтом подбивкой массой ВГМН.			

Таблица 2. Показатели службы муллитокорундовых огнеупоров МКТП-85

Предприятие	Цех, способ разливки, агрегат	Зона применения	Толщина футеровки, мм	Стойкость, плавки
Выксунский МЗ (в настоящее время применяют углеродсодержащие огнеупоры)	МЦ, изложницы, донная продувка, 130-т ковш	Стены	150	70–75
		Дно	250	
Гурьевский МЗ	МЦ, изложницы, донная продувка, 100-т ковш	Стены	187	75–80
		Дно	250	120
ЗСМК	ККЦ-2, УДМ, разливка в изложницы, 350-т сталеразливочный ковш	Шлаковый пояс	200	30–35
		То же	150	42–51
Сталь-НК (на консервации)	ЭСЦ, донная продувка, 55-т сталеразливочный ковш	Стены	120–150	51–61
		Дно		250
НТМК	ККЦ-2, чугунозаливочный ковш	Шлаковый пояс	150	405–491* <sup>1</sup>
ЗСМК	Известковое пространство, 200-т шахтная печь № 10	Зона обжига	230	Износ за 41 мес 5–10 мм* <sup>2</sup>
ЗСМК, Высокогорский ГОК, Сорский ГОК	Агломерационное производство, зажигательные горны агломерации	Свод	200 (с учетом подвесной части 300)	17–25 мес* <sup>3</sup>
ММК (в настоящее время используют КГИ)	ККЦ, МНЛЗ, промежуточный ковш	Шлаковый пояс наборного стопора	60	8
Челябинский цинковый завод	Цех обжига цинкового концентрата, печь	Зона обжига	114	Печь эксплуатируется с ноября 2006 г.
* <sup>1</sup> Наливы. * <sup>2</sup> Эксплуатация футеровки продолжается. * <sup>3</sup> Вывод из эксплуатации в соответствии с графиком ППР.				

качающихся, но и главных желобов. Следует отметить, что в последнее время география применения набивных масс расширилась за счет заказов новых потребителей — ОАО «Уральская сталь» и ОАО «Северсталь». Огнеупорные массы на основе ВКВС боксита успешно применяются для изготовления футеровки индукционных печей алюминиевой промышленности. Керамобетоны этого состава по показателям службы значительно превосходят аналогичные традиционные массы. Весьма перспективно применение высокоглиноземистых керамобетонов и в производстве магния [1].

В группе формованных керамобетонов максимальный объем производства за все прошедшие годы был достигнут в выпуске муллитокорундовых термостойких плотных огнеупоров марки МКТП-85. Благодаря повышенной термостойкости и прочности эти изделия отличаются значительно большей стойкостью в службе по сравнению с аналогичными огнеупорами других производителей. Некоторые области применения и показатели эксплуатационных характеристик огнеупоров МКТП-85 по данным [30] приведены в табл. 2.

Следует отметить, что объем продукции, производимой на основе ВКВС высокоглиноземистых составов, существенно выше, чем у кварцевых огнеупоров. Суммарная динамика роста объема ТП всех типов огнеупоров, производимых в ОАО «Динур» по технологиям ВКВС, показана на рис. 7. Из последнего следует, что каждое последующее полугодие характеризуется заметным ростом ТП, а в 2014 г. объем ТП по сравнению с 2013 г. увеличился на 55 %. Еще более значительный рост ТП отмечен в I квартале 2015 г. (рис. 8). По сравнению с аналогичным периодом 2013 и 2014 гг. он увеличился в 2,7 и 2,0 раза соответственно.

О значительных темпах роста объема производства и технико-экономической значимости огнеупоров, изготавливаемых в ОАО «Динур» по технологиям ВКВС, свидетельствуют данные, приведенные в статье [1]: «В 2006 г. достигнут рекордный уровень производства как кварцевых огнеупоров (~ 5500 т), так и различных формованных и неформованных керамобетонов, получаемых на основе ВКВС боксита (~ 11000 т). ...При этом в 2006 г. суммарный уровень производства на 82 % выше 2004 г. Эти виды продукции составляют 25–35 % в общем объеме товарной продукции и до 50–60 % — в прибыли ПДЗ». Следует отметить что почти за три десятилетия в ОАО «Динур» по технологиям ВКВС произведено около 180 тыс. т высокорентабельных огнеупоров, что по современным их ценам соответствует примерно 12

ТП, млн руб./6 мес

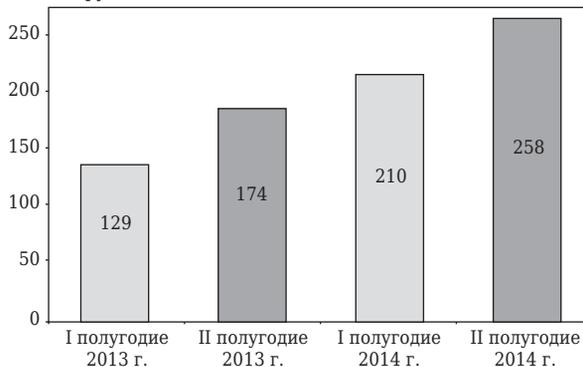


Рис. 7. Динамика роста объема ТП, производимой в ОАО «Динур» по лицензионному соглашению с НВФ «Керамбет-Огнеупор» в 2013 и 2014 гг.

ТП, млн руб./квартал

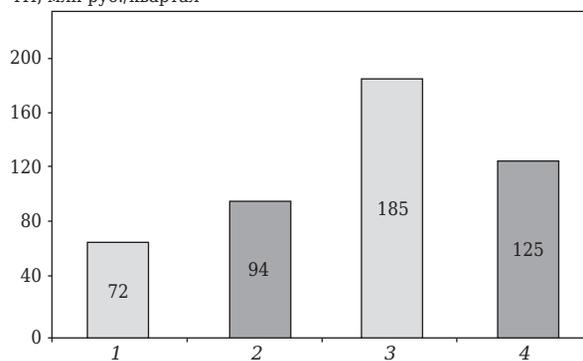


Рис. 8. Объем лицензированной ТП, произведенной в ОАО «Динур» в I квартале 2013 г. (1), I квартале 2014 г. (2), I квартале 2015 г. (3) и IV квартале 2014 г. (4)

млрд руб. ТП. При этом прибыль от ее производства составляет не менее 50 % от общей для ОАО «Динур». С учетом отмеченного на рис. 8 темпа роста вполне возможно, что годовой объем ТП в 2015 г., производимой в ОАО «Динур» по технологиям ВКВС, может достигнуть 750–800 млн руб.

Следует отметить, что производство всех видов огнеупоров на основе ВКВС является высокорентабельным и поэтому срок окупаемости вложенных инвестиций в расширение мощностей составляет не более 6 мес. Кроме того, все производства на основе ВКВС являются экологически чистыми (мокрые процессы вместо сухих), безотходными и характеризуются низким процентом утилизируемого брака.

Таким образом, впервые в отечественной практике крупномасштабного производства различных видов формованных и неформованных огнеупоров реализованы основные принципы технологий ВКВС. Внедрение принципиально новых наукоемких технологий и полученных на их основе материалов в трудных условиях становления рыночной экономики

в стране позволило заводу стать общероссийским лидером в производстве целого ряда огнеупоров, которые в прежние годы для него были непрофильными. О значительных конкурентных преимуществах, востребованности и перспективности огнеупоров, полученных по

технологиям ВКВС, свидетельствует тот факт, что рост объема производства ТП в 2014 г. по сравнению с 2013 г. увеличился на 55 %. Еще более значительный рост отмечен в I квартале 2015 г. — в 2,7 и 2,0 раза по сравнению с аналогичным периодом 2013 и 2014 гг.

### Библиографический список

1. **Гришпун, Е. М.** Двадцатилетняя эпоха сотрудничества / *Е. М. Гришпун, Ю. Е. Пивинский* // Новые огнеупоры. — 2007. — № 1. — С. 15–25.
2. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2 т. Т. I. Теоретические основы и технологические процессы / *Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев*; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М.: Теплоэнергетик, 2008. — 672 с.
3. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2 т. Т. II. Материалы, их свойства и области применения // *Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев*; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М.: Теплоэнергетик, 2008. — 464 с.
4. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические и огнеупорные материалы: избр. тр. Т. 2 / *Ю. Е. Пивинский*. — СПб.: Стройиздат СПб., 2003. — 668 с.
5. **Пивинский, Ю. Е.** Реология дисперсных систем, ВКВС и керамобетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном материаловедении: избр. тр. Т. 3 / *Ю. Е. Пивинский*. — СПб.: Политехника, 2012. — 682 с.
6. **Пивинский, Ю. Е.** Разработка, внедрение в производство и служба кварцевых безобжиговых огнеупоров // *Ю. Е. Пивинский, Т. И. Литовская, О. Н. Самарина* [и др.] // Огнеупоры. — 1989. — № 9. — С. 40–44.
- Pivinskii, Yu. E.** Development, introduction and service of unfired quartz refractories / *Yu. E. Pivinskii, T. I. Litovskaya, O. N. Samarina* [et al.] // *Refractories*. — 1989. — Vol. 30, № 9. — P. 572–578.
7. **Пивинский, Ю. Е.** Получение и свойства вяжущих высокоглиноземистых суспензий в системе боксит–кварцевое стекло / *Ю. Е. Пивинский, Д. А. Добродон* // Новые огнеупоры. — 2002. — № 5. — С. 19–26.
8. **Гришпун, Е. М.** О технологии производства и службе кварцевых сталеразливочных огнеупоров. Часть 1. Технологические особенности; Часть 2. Некоторые свойства и особенности службы / *Е. М. Гришпун, Ю. Е. Пивинский, Е. В. Рожков* // Огнеупоры и техническая керамика. — 1999. — № 4. — С. 42–45; № 6. — С. 42–46.
- Grishpun, E. M.** Production process and service of quartz steel-casting refractories. Part 1. Features of the process / *E. M. Grishpun, Yu. E. Pivinskii, E. V. Rozhkov* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 1999. — Vol. 40, № 3/4. — P. 170–173.
9. **Гришпун, Е. М.** ВКВС и керамобетоны — прорыв в технологии огнеупоров XXI века / *Е. М. Гришпун, Ю. Е. Пивинский* // Новые огнеупоры. — 2002. — № 2. — С. 28–33.
10. **Гороховский, А. М.** Освоение производства конкурентоспособных огнеупоров на ПДЗ и опыт их эксплуатации на Западно-Сибирском металлургическом комбинате / *А. М. Гороховский, Г. В. Польшиков, Е. В. Беклемышев* [и др.] // Новые огнеупоры. — 2004. — № 3. — С. 3–5.
11. **Гришпун, Е. М.** Перспективы производства и эксплуатации новых видов огнеупоров ОАО «Динур» / *Е. М. Гришпун, А. М. Гороховский, Л. А. Карпец* [и др.] // Новые огнеупоры. — 2004. — № 4. — С. 100–102.
12. **Гороховский, А. М.** Совершенствование огнеупоров муллитокорундового состава / *А. М. Гороховский, Л. А. Карпец, Г. В. Польшиков* [и др.] // Новые огнеупоры. — 2004. — № 11. — С. 9, 10.
13. **Гришпун, Е. М.** Новые огнеупоры производства ОАО «Динур» на службе у металлургов / *Е. М. Гришпун, А. М. Гороховский, Л. А. Карпец* // Новые огнеупоры. — 2006. — № 3. — С. 39–41.
14. **Пивинский, Ю. Е.** Изучение процессов прессования высокоглиноземистых керамобетонов. 3. Влияние технологических добавок на уплотнение и свойства матричных систем боксит–кварцевое стекло / *Ю. Е. Пивинский, Павел В. Дякин, Петр В. Дякин* // Новые огнеупоры. — 2006. — № 4. — С. 126–133.
- Pivinskii, Yu. E.** Pressure-molded high alumina ceramic castables. 3. Effect of processing additives on preure — induced compaction and properties of bauxite-quartz glass matrix systems / *Yu. E. Pivinskii, Pavel V. Dyakin, Petr V. Dyakin* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2006. — Vol. 47, № 2. — P. 132–138.
15. **Пивинский, Ю. Е.** О рекордной стойкости в службе кварцевых защитных труб для разлива стали / *Ю. Е. Пивинский, А. М. Гороховский, А. В. Макаров* // Новые огнеупоры. — 2004. — № 12. — С. 17, 18.
- Pivinskii, Yu. E.** Record-breaking durability of quartz protecting tubes for steel teeming tested under service conditions / *Yu. E. Pivinskii, A. M. Gorokhovskii, A. V. Makarov* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2005. — Vol. 46, № 1. — P. 27, 28.
16. **Пивинский, Ю. Е.** ВКВС и керамобетоны в XXI веке — проблемы и перспективы применения технологий в области силикатного материаловедения / *Ю. Е. Пивинский* // Новые огнеупоры. — 2011. — № 3. Часть 1. — С. 120–130; № 4. Часть 2. — С. 39–50.
- Pivinskii, Yu. E.** HCBS ceramic concretes in the XXI century — problems and prospects for applying technology in the field of silicate materials science. Part 1 / *Yu. E. Pivinskii* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2011. — Vol. 52, № 2. — P. 107–115.

17. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика, ВКВС, керамобетоны — страницы истории (десятилетия спустя об этом можно рассказать) / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2007. — № 2. — С. 56–64.

18. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика / Ю. Е. Пивинский, А. Г. Ромашин. — М. : Металлургия, 1974. — 264 с.

19. **Пивинский, Ю. Е.** Высокоплотная кварцевая керамика / Ю. Е. Пивинский, Ф. Т. Горобец // Огнеупоры. — 1968. — № 6. — С. 45–51.

**Pivinskii Yu. E.** High-densety fused — silica ceramics / Yu. E. Pivinskii, F. T. Gorobets // Refractories and Industrial Ceramics. — 1968. — Vol. 9, № 7/8. — P. 509–516.

20. **Суздальцев, Е. И.** Керамические радиопрозрачные материалы: вчера, сегодня, завтра / Е. И. Суздальцев // Новые огнеупоры. — 2014. — № 10. — С. 5–18.

21. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические вяжущие и керамобетоны / Ю. Е. Пивинский. — М. : Металлургия, 1990. — 274 с.

22. **Пивинский, Ю. Е.** Теоретические аспекты технологии керамики и огнеупоров : избр. тр. Т. 1 / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Стройиздат СПб., 2003. — 544 с.

23. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика, искусственные керамические вяжущие (ВКВС) и керамобетоны — история и перспективы развития технологий. Часть 1 / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. — 2009. — № 3. — С. 8–17.

24. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика, искусственные керамические вяжущие (ВКВС) и керамобетоны — история и перспективы развития технологий. Часть 2 / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. — 2009. — № 4/5. — С. 9–18.

25. **Пивинский, Ю. Е.** Основы технологии керамобетона / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры. — 1978. — № 2. — С. 34–42.

26. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного

кварца. Часть 1. Сопоставительная оценка и отличительные особенности технологий кварцевой керамики и огнеупоров / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин // Новые огнеупоры. — 2014. — № 7. — С. 33–40.

**Pivinskii, Yu. E.** Research in the Area of Preparing Materials Based on Fuzed Quartz HCBS. Part 1. Comparative Evaluation and Distinguishing Features of Quarts Ceramic and Refractory Technology / Yu. E. Pivinskii, P. V. Dyakin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 58, № 4. — P. 311–317.

27. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 3. Изучение и совершенствование процесса центробежного формования / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2015. — № 3. — С. 26–37.

28. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 2. Кварцевые сталеразливочные огнеупоры / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2015. — № 1. — С. 17–27.

29. **Митякин, П. Л.** Жаропрочные материалы на основе водных керамических вяжущих суспензий / П. Л. Митякин, О. М. Розенталь. — Новосибирск : Наука, 1987. — 174 с.

30. **Гришпун, Е. М.** Огнеупорные изделия и массы ОАО «Динур» / Е. М. Гришпун, А. М. Гороховский, Е. В. Беклемышев, Л. А. Карпец // Новые огнеупоры. — 2011. — № 8. — С. 16–23.

31. **Гороховский, А. М.** Неформованные огнеупоры производства ОАО «Динур» / А. М. Гороховский, Е. В. Беклемышев // Новые огнеупоры. — 2014. — № 11. — С. 15–21.

32. Применение высокообожженного андалузита в обожженных изделиях и низкоцементных бетонах // Новости черной металлургии за рубежом. — 2006. — № 3. — С. 83–86. ■

Получено 11.03.15

© Ю. Е. Пивинский, Е. М. Гришпун, А. М. Гороховский, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**ASEAN  
Ceramics  
2015 Bangkok**

**ASEAN Ceramics 2015**

9th - 11th September 2015 BITEC | Bangkok | Thailand

Southeast Asia's international exhibition of machinery, technology and materials for manufacturing whiteware, heavy clay and advanced ceramics.



**Южноазиатская международная  
выставка по керамике —  
ASEAN Ceramics 2015**



9–11 сентября 2015 г.

г. Бангкок, Таиланд

<http://aseanceramics.com/>