

Д. т. н. Ю. Е. Пивинский<sup>1</sup> (✉), к. т. н. В. А. Дороганов<sup>2</sup>, к. т. н. Е. А. Дороганов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия

УДК 666.974.2:666.76

## БЕСЦЕМЕНТНЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ БЕТОНЫ. Часть 6. Сопоставительная оценка природных (глины) и искусственных керамических вяжущих (ВКВС)\*

Проведена сопоставительная оценка искусственных (на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий — ВКВС) и природных (на основе глин и каолинов) керамических вяжущих подобного состава. Анализ их свойств и характеристик показывает как их значительное подобие, так и существенное различие. Как и у ВКВС, вяжущие (прочностные) свойства глин и каолинов определяются содержанием в них частиц коллоидной дисперсности и наночастиц. В отличие от ВКВС глины и каолины характеризуются значительным содержанием химически связанной воды, высокой водопотребностью формовочных систем резкой отличающейся (на порядок и выше) усадкой при сушке. Если вяжущие на основе глин рассматривать с позиции классификации ВКВС, то по химическому составу их можно отнести к кислотно-амфотерным (как и материалы на основе шамота). Однако по показателям химически связанной воды, объемной концентрации суспензии они ближе к ВКВС амфотерного и основного составов. Добавки огнеупорных глин и каолинов весьма эффективны при получении керамобетонов.

**Ключевые слова:** огнеупорные бетоны, ВКВС, глины, каолины, наночастицы, частицы коллоидной дисперсности, природные и искусственные керамические вяжущие, вяжущие свойства.

**В** публикациях 1990 г. [1–3] применительно к технологии бесцементных огнеупорных бетонов отмечено, что уже на тот период было разработано много типов ВКВС алюмосиликатного состава на основе шамота с разным содержанием  $Al_2O_3$ . Между тем многие глинистые минералы, в том числе используемые при получении шамота в огнеупорной промышленности, широко применяют в качестве связующих материалов, в частности при получении вибролитых тиксотропных огнеупорных масс [4, 5]. В отличие от искусственных керамических вяжущих на основе ВКВС глины могут считаться природными керамическими вяжущими. Известно, что вяжущие свойства глин определяются в основном минеральным составом, размером и формой кристаллов глинистых минералов, разными примесями, природой обменных ионов.

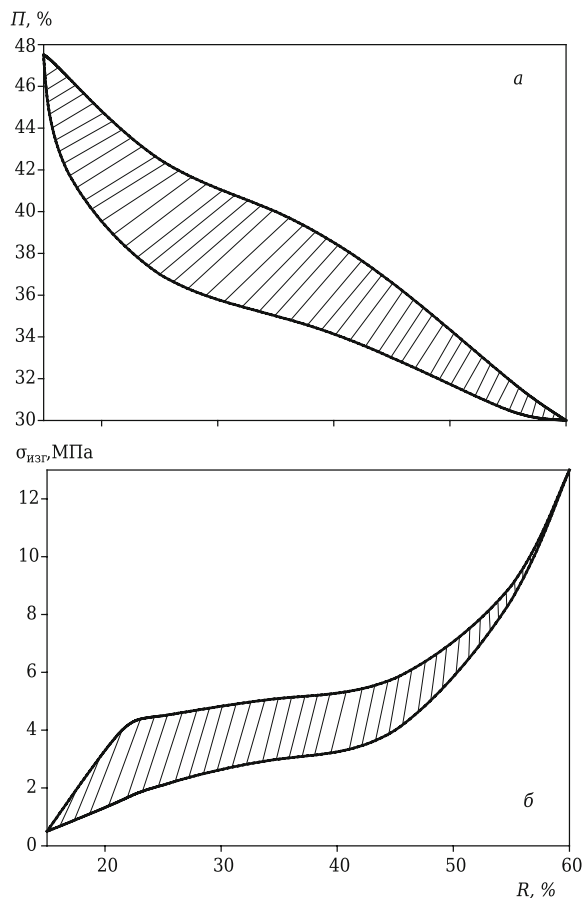
Анализ литературных данных, приведенных в публикации [1], показывает, что показатели прочности и пористости полуфабриката на основе разнообразных глинистых материалов, как и в случае ВКВС, определяются содержанием в них фракций коллоидной дисперсности ( $< 0,1–0,5$  мкм). Обработка табличных данных статьи [6] по дисперсности исходных глин и каолинов 15 типов, а также характеристик полуфабриката (вяжущего) на их основе показывает (рис. 1), что в данном случае проявляется рассмотренная для ВКВС закономерность повышения прочности отливок и снижения их пористости по мере роста в исходном материале содержания коллоидно-дисперсных частиц. Аналогично из рис. 2, построенного по табличным данным статьи [7], следует вполне удовлетворительная зависимость показателей прочности и пористости отливок от содержания в исходных глинах монтмориллонита, характеризующегося в основном коллоидной дисперсностью.

В статье [8] приведены данные по детальному исследованию 70 типов глин и каолинов Германии и ряда зарубежных месторождений. Исходные материалы характеризовались широким интервалом значений как удельной поверхности  $S_{уд}$  (от 0,5 до 90  $см^2/г$ ), так и  $\sigma_{изг}$  (от 0,2 до 9,4 МПа). На рис. 3 [8] показано влияние толщины кристаллов изученных глин и каолинов на  $\sigma_{изг}$  образцов на их основе. Видно, что при уменьшении  $h$  от 200 до 10 нм  $\sigma_{изг}$  увеличивается почти

\* Продолжение. Части 1–5 статьи опубликованы в журнале «Новые огнеупоры» в № 9 и 11 за 2019 г., № 1, 3 и 7 за 2020 г.



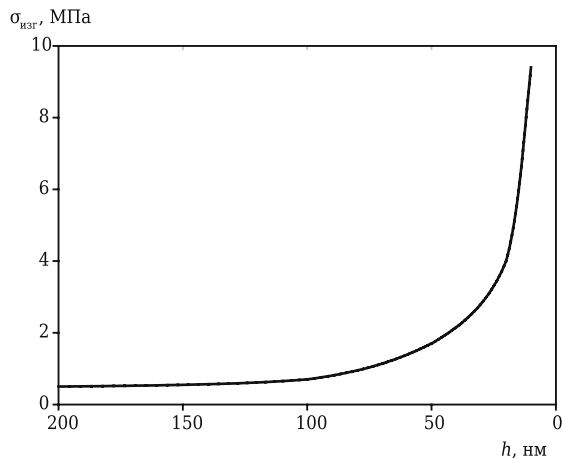
Е. Ю. Пивинский  
E-mail: pivinskiy@mail.ru



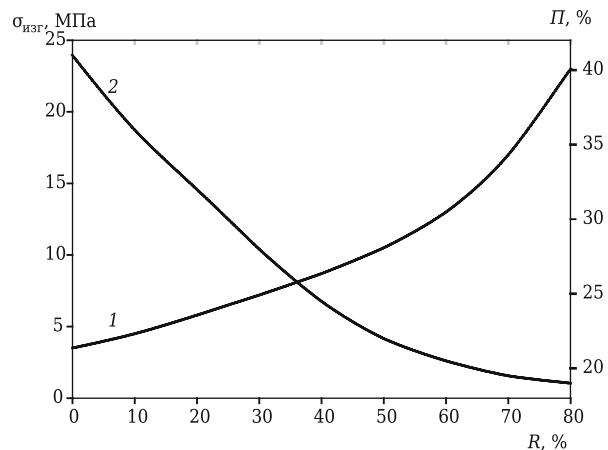
**Рис. 1.** Области значений пористости  $P$  (а) и предела прочности при изгибе  $\sigma_{изг}$  (б) высушенных образцов на основе 15 видов глин и каолинов в зависимости от содержания  $R$  в них частиц размерами менее 0,5 мкм

в 50 раз. При этом резкий рост  $\sigma_{изг}$  характерен при уменьшении толщины  $h$  от 50 до 10 нм. Из рис. 4 следует, что при повышении  $S_{уд}$  глин и каолинов от 0,5 до 90 см<sup>2</sup>/г  $\sigma_{изг}$  образцов на их основе также увеличивается, как и на рис. 3.

Одним из факторов, существенно влияющих на  $\sigma_{изг}$  образцов, является их пористость или относительная плотность  $\rho_{отн}$  (рис. 5). Видно, что в



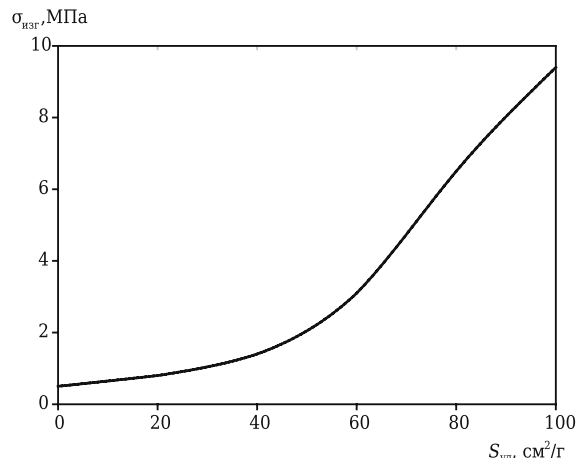
**Рис. 3.** Влияние толщины  $h$  кристаллов глин и каолинов на  $\sigma_{изг}$  образцов на их основе



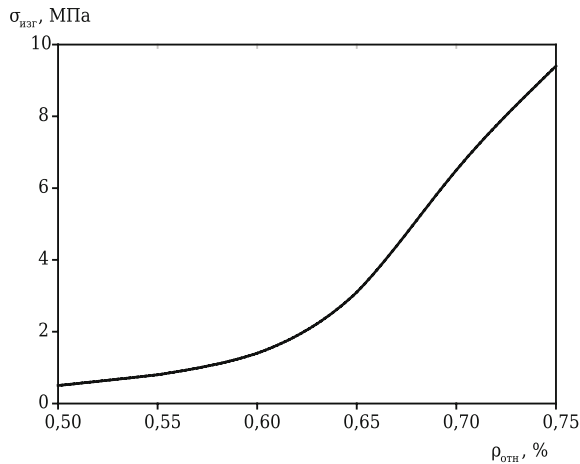
**Рис. 2.** Зависимости  $\sigma_{изг}$  (1) и  $P$  (2) высушенных образцов на основе монтмориллоновых каолинов и глин от массового содержания  $R$  в них монтмориллонита

интервале  $\rho_{отн}$  от 0,5 до 0,75 значения  $\sigma_{изг}$  увеличиваются примерно в 10 раз. Следует отметить, что у образцов на основе исследованных глин и каолинов [8] отмечается взаимосвязь показателей  $S_{уд}$  и  $h$  с  $\rho_{отн}$  и  $\sigma_{изг}$ . При этом, как правило, максимальные значения как  $\rho_{отн}$ , так и  $\sigma_{изг}$  характерны для глин и каолинов, отличающихся повышенной дисперсностью (значениями  $S_{уд}$  и  $h$ ). Как следует из рис. 2, аналогичная закономерность отмечается и у монтмориллоновых глин и каолинов: максимальные значения  $\sigma_{изг}$  и минимальные значения  $P$  наблюдаются у образцов с максимальным содержанием монтмориллонита.

Характерными особенностями глин, содержащих значительную долю частиц коллоидной дисперсности, являются пониженная предельно допустимая для суспензии объемная концентрация  $C_v$ , наличие существенного предела текучести и тиксотропии, высокая усадка отливок при сушке. Так, согласно данным [8–10] предельное значение усадки при сушке составляет у каолиновых глин 10 %, галлуазитовых 15 %, монтмориллоновых 23 %. Эти показатели при рассмотрении глинистых материалов в качестве



**Рис. 4.** Влияние удельной поверхности  $S_{уд}$  глин и каолинов на  $\sigma_{изг}$  образцов на их основе

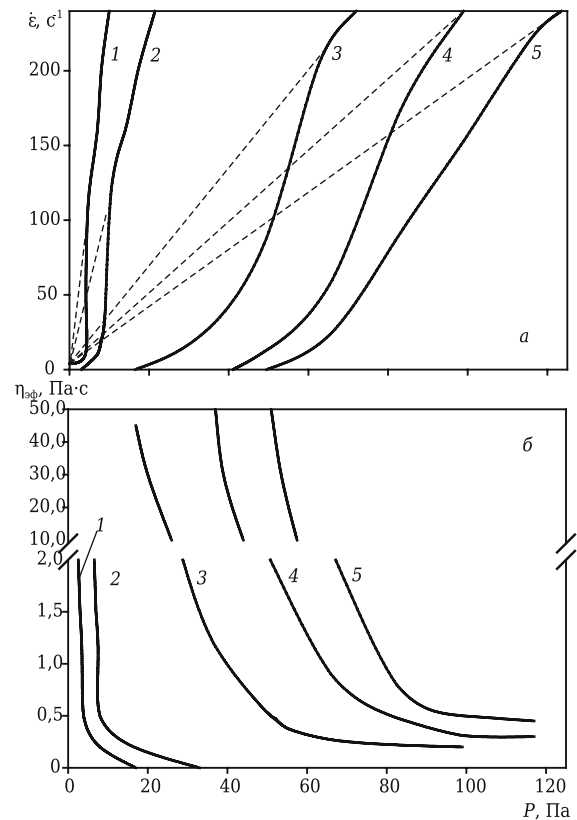


**Рис. 5.** Влияние  $\rho_{отн}$  высушенных образцов на основе глин и каолинов на  $\sigma_{изг}$

вяжущих являются нежелательными. В качестве примера на рис. 6 показаны реологические кривые суспензий махарадзевского монтмориллонита [1–3]. Видно, что суспензии даже при  $C_v$  0,09 и 0,11 характеризуются существенным пределом текучести. Отливки на их основе отличаются повышенной усадкой при сушке (21–23 %), достаточно низкой пористостью отливки (27–28 %) и высокой прочностью. Если основная доля уплотнения систем на основе ВКВС приходится на стадии получения или в процессе структурообразования ВКВС при частичном обезвоживании, то уплотнение глин происходит в процессе сушки отливок.

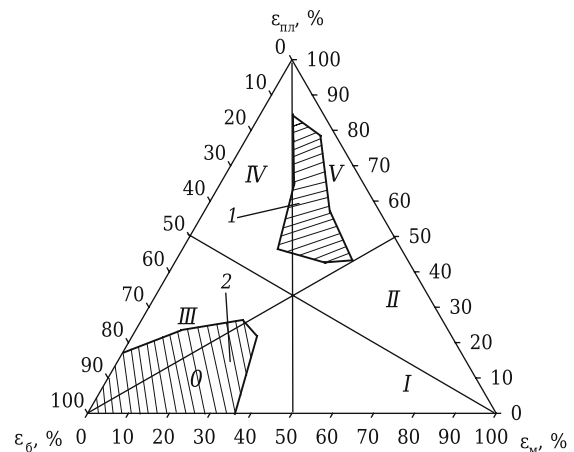
Существенное различие реотехнологических свойств ВКВС и глин в значительной степени обусловлено формой частиц твердой фазы. Благодаря мокрому измельчению при предельно высоких концентрациях ВКВС их частицы имеют окатанную форму, а частицы глины — разные длину и толщину. Это различие определяет как фактор достижимой концентрации исходных формовочных систем, так и реологические свойства: тиксотропный характер течения (с выраженным пределом текучести) для глин и дилатантный или тиксотропно-дилатантный для ВКВС [1, 11–13].

Помимо вышеуказанных различий между ВКВС и глинами следует отметить существенную разницу их структурно-механических свойств, которые определяются типами возникающих в системе деформаций. Известно [14, 15], что суспензии на основе глинистых материалов за счет частичного обезвоживания переходят из жидкотекучего состояния в пластическое, которое характеризуется определенным соотношением разных типов деформаций. Так, согласно данным [16–18], в огнеупорных глинах в зависимости от влажности пластичной массы (17–38 %) преобладают пластические деформации  $\varepsilon_{пл}$  (рис. 7), которые характерны для IV и V



**Рис. 6.** Зависимости скорости сдвига  $\dot{\varepsilon}$  (а) и эффективной вязкости  $\eta_{эф}$  (б) от напряжения сдвига  $P$  для суспензий махарадзевского монтмориллонита при  $C_v$  0,09 (1), 0,11 (2), 0,14 (3), 0,17 (4) и 0,19 (5)

структурно-механических типов по классификации С. П. Ничипоренко [15]. Эти виды деформации возникают, когда напряжение сдвига достигает величины, равной пределу текучести, и характеризуются частичным разрушением структуры с полной необратимостью. При частичном обезвоживании ВКВС до 7–10 % происходит переход из жидкого состояния в твердообразное со свойствами, присущими хрупкому материалу. В результате эти системы находятся



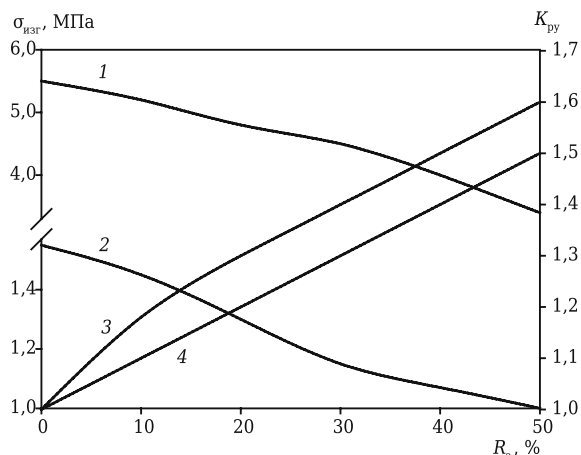
**Рис. 7.** Диаграмма деформационных характеристик масс на основе огнеупорных глин (1) и ВКВС (2)

в области 0 и III структурно-механических типов (см. рис. 7), в которых преобладают быстрые эластические деформации  $\varepsilon_6$ . Этот тип деформации возникает в первые мгновения внешнего воздействия и связан с шарнирным поворотом и упругим взаимодействием между твердыми частицами дисперсной фазы, которое после снятия нагрузки полностью исчезает.

Значительное различие между сопоставляемыми вяжущими отмечается также в содержании химически связанной воды. У многих видов огнеупорных глин потери при прокаливании находятся в пределах 8–10 %, у ВКВС аналогичного состава — в пределах 0,5–0,8 %.

Ввиду высоких объемных изменений при сушке глин важной их характеристикой с точки зрения применения в качестве вяжущего для огнеупорных бетонов является отношение к отощающим заполнителям. В случае как систем на основе глин, так и ВКВС введение заполнителя приводит к снижению механической прочности материала по сравнению с прочностью матрицы. Последнее на примере глин по табличным данным статьи [7] показано на рис. 8. Влияние количества и дисперсности вводимого зернистого заполнителя на свойства ВКВС и материалов на их основе описано в публикациях [1, 3]. Следует отметить, что при сравнимых характеристиках зернистого заполнителя (размер и содержание) относительное разупрочнение  $K_{py}$  ниже у систем на основе ВКВС. Это обусловлено меньшей усадкой матрицы и, соответственно, созданием в твердеющей (при высыхании) системе меньших напряжений за счет некомпенсированной усадки.

Как и у ВКВС, немаловажным показателем, влияющим на пористость глинистых материалов, является их полидисперсность, оцениваемая коэффициентом полидисперсности  $K_n$  [1]. Применительно к глинистым материалам этот показатель практически не анализировался. На рис. 9 сопоставлены данные по фракционному

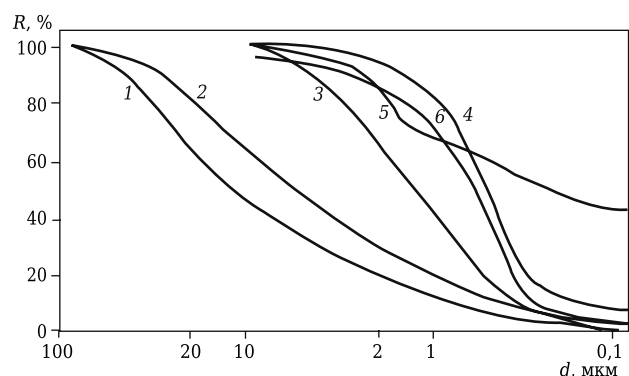


**Рис. 8.** Зависимости  $\sigma_{изг}$  образцов на основе глин с большей (1) и меньшей (2) прочностью от массового содержания в них кварцевого порошка  $R_z$  (3) и показателя разупрочнения  $K_{пу}$  (4)

составу двух типов ВКВС с достаточно высоким значением  $K_n$  (12 и 17 для кривых 1 и 2 соответственно), а также каолинов и глин, дисперсность которых в табличном виде охарактеризована в статье [6]. Несмотря на то, что полидисперсность твердой фазы глин уступает, как правило, полидисперсности ВКВС, все же и в данном случае отмечается определенная взаимосвязь между значениями  $K_n$  и пористости отливки  $P_{отл}$ . Так, у каолинов (см. рис. 9, кривые 3, 4) с  $K_n$  2,8 и 5,7  $P_{отл}$  составляет 49 и 47 % соответственно. У глины с аномально высокой полидисперсностью (см. рис. 9, кривая 5) отмечается значительно меньшая  $P_{отл}$  (30 %), чем у низкополидисперсной глины ( $P_{отл} = 38$  %, см. кривую 6) с  $K_n = 3,3$ . Отмечающаяся при этом существенная разница показателей  $\sigma_{изг}$  глин (13,4 и 5,5 МПа для кривых 5 и 6) также обусловлена разницей как  $P_{отл}$ , так и фракционного состава (содержания частиц коллоидной дисперсности).

Следует отметить, что общей закономерностью поведения глин и ВКВС является подобие фильтрационных характеристик, проявляемых в процессе структурообразования за счет частичного удаления жидкости (ее кинетически свободной доли). Содержание коллоидного компонента, определяя поровую структуру материала при структурообразовании, сильно влияет на фильтрационные характеристики. Так, согласно данным [6] при увеличении содержания в исходных глинах частиц фракции мельче 0,5 мкм от 16 до 60 % скорость фильтрации уменьшается в 60 раз. Аналогичным образом увеличение в исходных ВКВС кварцевого песка концентрации коллоидного компонента в пределах 0,75–106 г/л дисперсионной среды приводило к резкому росту продолжительности формования образцов шликерным литьем [1].

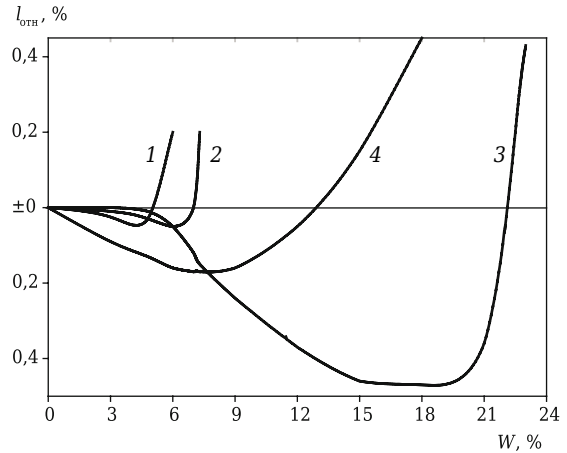
У материалов, полученных на основе ВКВС кремнеземистого, алюмосиликатного и высокоглиноземистого составов [1–3], процесс сушки на заключительных стадиях характеризуется некоторым линейным ростом (до 0,08 %). До



**Рис. 9.** Интегральные кривые фракционного распределения  $R$  твердой фазы ВКВС шамотного (1) и кварцешамотного (2) составов, а также двух типов каолинов (3, 4) и глин (5, 6)

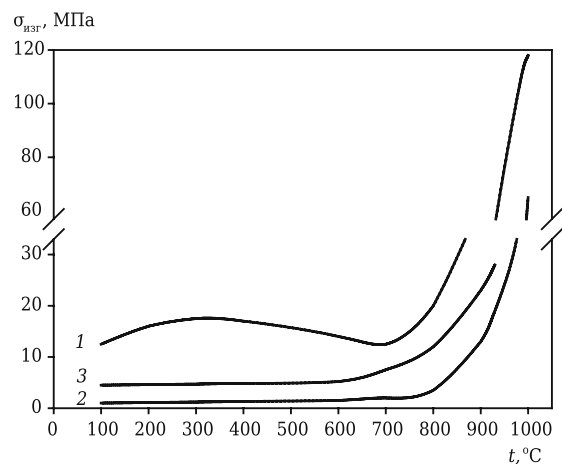
последнего времени такая особенность считалась аномальной и присущей только отливкам на основе ВКВС. Между тем в статье [10] такие особенности были установлены и у различных глинистых минералов. По аналогии с поведением отливок из ВКВС в данном случае также отмечается существенное влияние таких факторов, как дисперсность твердой фазы, введение заполнителя и др. В качестве примера на рис. 10 показаны сопоставительные данные по линейному росту отливок в процессе сушки (снижение влажности  $W$ ). В отличие от отливок на основе глинистых минералов с высокой усадкой (до 5–10 % и выше) усадка отливок из ВКВС не более 0,5 %. Рост отливок сравниваемых материалов различается на порядок, т. е. существует некоторая связь между усадкой и ростом отливок; показатели роста могут достигать 10–25 % общей усадки [1, 3].

Целесообразно рассмотреть также принципиальное различие вяжущих на основе глины и ВКВС одного и того же химического состава. Сравнительные исследования проведены с использованием в качестве исходной часовоярской глины (56 %  $\text{SiO}_2$ , 34 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) [3]. Суспензия из такой глины даже при  $C_V = 0,25 \div 0,30$  обладает достаточной тиксотропией, а отливки из нее характеризуются высокими усадкой при сушке (9–10 %) и прочностью ( $\sigma_{\text{изг}} = 14$  МПа). Дегидратация этой глины при 800–900 °С с последующей диспергацией и суспендированием порошка позволяет повысить  $C_V$  до 0,40–0,45; при этом тип течения суспензии переходит в дилатантный. Характерно, что усадка отливки при сушке снижается до 0,5 %, а  $\sigma_{\text{изг}}$  до 1 МПа. Повышается при этом пористость отливки (от 36 до 39 %). Отсюда следует, что для получения ВКВС на основе материалов алюмосиликатного состава требуется не только дегидратация исходных материалов, но и достаточно высокотемпературная термообработка (до 1200–1300 °С), приводящая к потере кристаллохимической активности твердой фазы, требующейся для достижения оптимальных коллоидно-химических характеристик ВКВС. Кроме того, необходимость высокой степени спекания (достижения низкой пористости шамота) позволяет получать ВКВС с одностадийной загрузкой материала [1, 12, 19, 20]. Как следует из рис. 11,  $\sigma_{\text{изг}}$  отливок из суспензий на основе исходной глины (кривая 1) при всех температурах выше, чем у отливок из дегидратированной глины (кривая 2) и отливок из ВКВС (кривая 3). Различие между ВКВС и глинами состоит также в водостойкости высушенного материала. Вследствие существенного набухания в воде глинистые материалы не могут быть упрочнены по УХАКС-механизму [3]. Следует отметить, что высушенные отливки, полученные из дегидратированной глины, проявляют упрочнение при гидротермальной обработке.



**Рис. 10.** Зависимость относительного линейного изменения  $l_{\text{отн}}$  отливок в процессе высыхания: 1 — отливки на основе ВКВС кварцевого стекла; 2 — на основе ВКВС шамотного состава; 3 — на основе глины; 4 — на основе отощенной глины

В публикациях [1, 11] отмечены возможность и целесообразность сочетания сравниваемых типов вяжущих. Это касается, в частности, тех случаев, когда необходимо существенное изменение реологических свойств ВКВС или регулирование прочности материалов при термообработке. Как впервые показано в статье [11], введение добавок каолина в суспензии кварцевого стекла позволяло изменять дилатантный тип течения на тиксотропно-дилатантный или тиксотропный. Такие технологические задачи возникают при формировании керамобетонов. Введение огнеупорных глины в ВКВС магнезиального состава позволило уменьшить разупрочнение вяжущего в неблагоприятном для данного случая интервале 500–1000 °С [1]. Некоторые сведения по зарубежным бесцементным неформованным огнеупорам (огнеупорные бетоны, торкрет-массы, пластичные массы, набивные массы) с применением гли-



**Рис. 11.** Зависимости  $\sigma_{\text{изг}}$  от температуры термообработки  $t$  образцов на основе часовоярской глины до (1) и после дегидратации при 800 °С (2), а также образцов ВКВС из нормального шамота (3)

нистых связок приведены в статье [19]. В настоящее время имеется достаточно много примеров добавок глин в технологии многих видов ВКВС и керамобетонов. Этому вопросу будет посвящена очередная статья в данной серии публикаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление искусственных (на основе ВКВС) и природных (на основе глин) керамических вяжущих подобного химического состава показывает как значительное их подобие, так и существенное различие. Если первое состоит в подобии факторов, определяющих вяжущие свойства, то второе — в существенно различаю-

щейся водопотребности систем и резко различающейся (на порядок и выше) усадке при сушке. Если вяжущие на основе глин рассматривать с позиции классификации ВКВС [12], то по химическому составу их можно отнести к кислотно-амфотерным, как и материалы на основе дегидратированных глин. Однако по целому ряду показателей (объемному содержанию химических связанной воды  $W_x$ ,  $C_v$ ,  $P_{отл}$ ) они ближе к соответствующим показателям для амфотерных и основных ВКВС. Это же касается и оптимальных технологических параметров при получении материалов из глин.

(Продолжение следует)

## Библиографический список

1. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические вяжущие и керамобетоны / Ю. Е. Пивинский. — М. : Metallurgiya, 1990. — 274 с.
2. **Pivinskii, Yu. E.** New population of refractory concretes: Cement free concretes (review) / Yu. E. Pivinskii, M. A. Trubitsyn // *Refractories*. — 1990. — Vol. 31, № 7/8. — P. 435–445.
3. **Пивинский, Ю. Е.** Огнеупорные бетоны нового поколения. Бесцементные бетоны / Ю. Е. Пивинский, М. А. Трубицын // *Огнеупоры*. — 1990. — № 8. — С. 6–16.
4. **Pivinskii, Yu. E.** New population of refractory concretes. General characteristics of the binder systems / Yu. E. Pivinskii, M. A. Trubitsyn // *Refractories*. — 1990. — Vol. 31, № 11/12. — P. 673–681.
5. **Пивинский, Ю. Е.** Огнеупорные бетоны нового поколения. Общие характеристики вяжущих систем / Ю. Е. Пивинский, М. А. Трубицын // *Огнеупоры*. — 1990. — № 12. — С. 1–8.
6. **Pivinskii, Yu. E.** New population of refractory concretes: Low-cement concretes and castable vibration-treated (vibrocast) thixotropic refractory bodies / Yu. E. Pivinskii // *Refractories*. — 1990. — Vol. 31, № 7/8. — P. 369–380.
7. **Пивинский, Ю. Е.** Огнеупорные бетоны нового поколения. Низкоцементные бетоны. Наливные вибрационные тиксотропные огнеупорные массы / Ю. Е. Пивинский // *Огнеупоры*. — 1990. — № 7. — С. 1–10.
8. **Eguchi, T.** Low-cement-bonded castable refractories / T. Eguchi, J. Takita, J. Yoshitomi [et al.] // *Taikabutsu Overseas*. — 1989. — Vol. 9, № 1. — P. 10–25.
9. **West, R. R.** Characteristics of clays related to dry strength / R. R. West, W. J. Czaplinski, S. W. Frankson [et al.] // *Am. Ceram. Soc. Bull.* — 1969. — Vol. 48, № 2. — P. 209–213.
10. **Hofmann, U.** Plastizität und Trockenbiegefestigkeit von Kaolinen und Tonen / U. Hofmann, A. Rohde // *Ber. Dtsch. Keram. Ges.* — 1970. — Bd 47, № 5. — S. 296–299.
11. **Hofmann, U.** Trockenbiegefestigkeit von Kaolinen und Tonen / U. Hofmann, F. W. Schembra, M. Schatz // *Ber. Dtsch. Keram. Ges.* — 1967. — Bd 44, № 4. — S. 131–140.
12. **Пашенко, А. А.** Вяжущие материалы / А. А. Пашенко, В. П. Сербин, В. А. Старчевская. — Киев : Выща школа, 1975. — 442 с.
13. **Schwiete, H.** Trocknungsverhalten Gegossener Keramischer Massen / H. Schwiete, H. Bleckmann, W. Muhr // *Ber. Dtsch. Keram. Ges.* — 1970. — Bd 47, № 5. — S. 300–305.
14. **Pivinskii, Yu. E.** Rheological and technological properties of mixed suspensions of refractory components / Yu. E. Pivinskii, A. I. Natsenko // *Refractories*. — 1974. — Vol. 15, № 11/12. — P. 710–716.
15. **Пивинский, Ю. Е.** Реологические и технологические свойства смешанных суспензий на основе огнеупорных компонентов / Ю. Е. Пивинский, А. И. Наценко // *Огнеупоры*. — 1974. — № 11. — С. 49–55.
16. **Pivinskii, Yu. E.** New refractory concretes and binding systems: basic trends of development, production, and use of refractories in the 21st century. Part IV. Low-cement concretes and cement-free unshaped refractories / Yu. E. Pivinskii // *Refract. Ind. Ceram.* — 1998. — Vol. 39, № 5/6. — P. 151–159.
17. **Пивинский, Ю. Е.** Новые огнеупорные бетоны и вяжущие системы — основополагающее направление в разработке, производстве и применении огнеупоров в XXI веке. Часть IV. Низкоцементные бетоны и бесцементные формованные огнеупоры / Ю. Е. Пивинский // *Огнеупоры и техническая керамика*. — 1998. — № 5. — С. 2–10.
18. **Пивинский, Ю. Е.** Зависимость технологических параметров высоконцентрированных керамических и стекловых вяжущих суспензий сложных составов от химической природы твердой фазы / Ю. Е. Пивинский, В. И. Онищук, В. А. Дороганов [и др.] // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. — 2016. — № 9. — С. 175–182.
19. **Лукин, Е. С.** Технический анализ и контроль производства керамики / Е. С. Лукин, Н. Т. Андрианов. — М. : Стройиздат, 1986. — 271 с.
20. Структурообразование в дисперсиях слоистых силикатов ; под общ. ред. С. П. Ничипоренко. — Киев : Наукова думка, 1978. — 204 с.
21. **Pivinskii, Yu. E.** Refractory plastic masses based on highly concentrated ceramic binding suspensions (HCBS). I. Structural and mechanical properties of suspensions (pastes) of refractory clays / Yu. E. Pivinskii, E. A. Doroganov, V. A. Doroganov // *Refract. Ind. Ceram.* — 2000. — Vol. 41, № 3/4. — P. 125–130.
22. **Пивинский, Ю. Е.** Огнеупорные пластичные массы на основе высоконцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС). I. Структурно-механические свойства суспензий (паст) огнеупорных глин / Ю. Е. Пивинский, Е. А. Дороганов, В. А. Дороганов // *Огнеупоры и техническая керамика*. — 2000. — № 4. — С. 14–19.

17. **Pivinskii, Yu. E.** Refractory plastic masses based on highly concentrated ceramic binding suspensions (HCBS). II. Structural and mechanical properties of plasticized HCBS in the system  $\text{SiO}_2$ -clay / Yu. E. Pivinskii, E. A. Doroganov, V. A. Doroganov // Refract. Ind. Ceram. — 2001. — Vol. 42, № 3/4. — P. 106–110.

**Пивинский, Ю. Е.** Огнеупорные пластичные массы на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС). II. Структурно-механические свойства пластифицированных ВКВС в системе  $\text{SiO}_2$ -глина / Ю. Е. Пивинский, Е. А. Дороганов, В. А. Дороганов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2001. — № 3. — С. 17–20.

18. **Pivinskii, Yu. E.** Refractory plastic masses based on highly concentrated ceramic binding suspensions (HCBS). III. Structural-mechanical properties of plasticized masses based on bauxite HCBS and characterization of materials derived from them / Yu. E. Pivinskii, E. A. Doroganov, V. A. Doroganov // Refract. Ind. Ceram. — 2001. — Vol. 42, № 3/4. — P. 151–156.

**Пивинский, Ю. Е.** Огнеупорные пластичные массы на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС). III. Структурно-механические свойства пластифицированных масс на основе ВКВС боксита и некоторые характеристики

материалов на их основе / Ю. Е. Пивинский, Е. А. Дороганов, В. А. Дороганов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2001. — № 4. — С. 18–23.

19. **Pivinskii, Yu. E.** Cement-free refractory concretes. Part 1. General information. HCBS and ceramic concretes / Yu. E. Pivinskii // Refract. Ind. Ceram. — 2019. — Vol. 60, № 5. — P. 430–438.

**Пивинский, Ю. Е.** Бесцементные огнеупорные бетоны. Часть 1. Общие сведения. ВКВС и керамобетоны / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2019. — № 9. — С. 14–24.

20. **Pivinskii, Yu. E.** Cement-free refractory concretes. Part 2. High-alumina and corundum ceramic concretes / Yu. E. Pivinskii, P. V. Dyakin, E. M. Grishpun, A. M. Gorokhovskii // Refract. Ind. Ceram. — 2019. — Vol. 60, № 6. — P. 566–573.

**Пивинский, Ю. Е.** Бесцементные огнеупорные бетоны. Часть 2. Высокоглиноземистые и корундовые керамобетоны / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, Е. М. Гришпун, А. М. Гороховский // Новые огнеупоры. — 2019. — № 11. — С. 39–48. ■

Получено 25.02.20

© Ю. Е. Пивинский, В. А. Дороганов,  
Е. А. Дороганов, 2020 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Ассоциация производителей и потребителей огнеупоров  
«Санкт-Петербургский научно-технический центр»  
Ассоциация «СПб НТЦ»

## XI Научно-практическая конференция Актуальные проблемы огнеупорного производства

Санкт-Петербург, 09–10 ноября 2020 г.

Тематика конференции: огнеупорное сырье, современные технологии в производстве и эксплуатации огнеупоров, технологическое и лабораторное оборудование, подтверждение качества огнеупоров/независимая экспертиза, стандартизация и информационное обеспечение в области огнеупоров.

Тел: (812) 309-18-82, e-mail: [refinfo@mail.ru](mailto:refinfo@mail.ru), [www.ogneupor-spb.ru](http://www.ogneupor-spb.ru)