

Исследование влияния добавки нанопорошка SiO_2 на физико-механические свойства золокерамики

В. В. Ларичкин, Д. А. Немущенко, В. А. Кальнеус, Е. А. Куницына,
А. В. Леготин, Р. А. Слесаренко

Исследовано влияние наномодифицирующей добавки порошка SiO_2 на свойства керамики, состоящей из золы-уноса тепловых электростанций (ТЭС), стекольных отходов и глинистого связующего. На основе исследований физико-механических свойств полученной керамики (прочности при сжатии и трехточечном изгибе, водопоглощения, износостойкости) показано положительное влияние нанодобавки. Предложено направление дальнейших исследований по улучшению свойств керамических изделий с использованием твёрдых отходов.

Ключевые слова: керамика, золошлаковые отходы, зола-уноса, стеклобой, наноматериал, диоксид кремния.

Введение

С развитием нанотехнологий особую значимость приобрели композиционные материалы с наноразмерными наполнителями [1]. Это связано с тем, что при их использовании свойства полученных композитов часто резко отличаются от свойств материалов с такими же, но более крупными наполнителями. Однако применение наноразмерных наполнителей может быть связано с некоторыми проблемами. В частности, из-за высокой поверхностной энергии, химической активности и т.д., наночастицы образуют уже в свободном состоянии более крупные агрегаты и агломераты. Вследствие этого происходит не только снижение эффекта от наночастиц, но и возникает неравномерное распределение самих агломератов частиц. Полученные на основе таких агломератов композиты не только теряют ценные свойства, ожидаемые от введения наночастиц, но и становятся неоднородными материалами с плохими физико-механическими характеристиками. Соответственно, особый интерес вызывает определение путей получения композитов с равномерным распределением наночастиц в матричном материале.

Рассмотрен опыт применения наноразмерных добавок [2], в частности SiO_2 , для модификации материалов различного назначения и способов

введения их в матричный материал. Условно можно выделить четыре основных направления приложения наноразмерных материалов: модификация лакокрасочных покрытий; модификация объемных материалов, в частности, строительных [3]; введение функциональных нанодобавок в оксидные керамики на основе чистых порошков оксидов металлов и т.п. [4]; использование наноразмерных наполнителей в полимерных органических матричных материалах [5].

На кафедре инженерных проблем экологии Новосибирского государственного технического университета проводятся исследования по созданию технологий утилизации твердых отходов производства и потребления с целью получения материалов различного назначения, в первую очередь для строительства и, в частности, технической керамики.

Цель работы — изучение влияния наноразмерной добавки SiO_2 на свойства образцов керамических изделий, полученных с использованием твёрдых техногенных и бытовых отходов, а также апробирование различных методов диспергирования наночастиц в керамической массе.

Получение экспериментальных образцов

В качестве основы была выбрана рецептура керамики, полученной в [6], которая ранее была

Таблица 1

Химический состав золы-уноса

Содержание минералов, масс. %								
CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaSO ₄	MgO	Fe ₃ O ₄	Ca ₃ Al ₂ O ₆	Ca ₂ FeAlO ₅	Ca ₂ SiO ₄
27	8	3	12	4	6	7	26	7

Таблица 2

Химический состав глины месторождения “Маслянинское-2”

Содержание основных оксидов, масс. %											
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	Остальное
59,45	15,10	6,28	4,29	2,47	1,96	1,23	0,93	0,25	0,18	0,14	7,72

адаптирована под местные сырьевые компоненты, и получены изделия, удовлетворяющие требованиям нормативных документов к потребительским свойствам.

Оптимальная рецептура исследуемой керамики содержала следующие компоненты, масс. %: наноразмерный порошок SiO_2 — 0,1 – 10; зола-уноса ТЭС — 30; стеклобой — 25 – 50; глина и вода — остальное. В качестве нанодобавки использовали наноразмерный порошок диоксида кремния (далее — nano-SiO_2), полученный исследователями Института теоретической и прикладной механики СО РАН и Института ядерной физики СО РАН методом испарения с последующим охлаждением высокотемпературного пара и конденсацией. Для испарения использовали промышленный ускоритель электронов мощностью до 100 кВт непрерывного действия с системой фокусировки выпуска концентрированного пучка в атмосферу [7]. Средний размер первичных частиц составлял ~ 22 нм, удельная поверхность ~ 123 м²/г.

В качестве твердого техногенного отхода использовали высококальциевую сухую золу-уноса от сжигания смеси бурых углей различных разрезов Канско-Ачинского угольного бассейна на ТЭЦ-3 г. Новосибирска, уловленную из дымовых газов электрофильтрами. Зола-уноса подвергали просеиванию от наиболее крупных включений (более 2 мм) и использовали в композиции как после прокаливании, для удаления невыгоревшего остатка, так и без прокаливании. С целью максимального использования золы-уноса ее вводили в сырьевую смесь без предварительного рассеивания на фракции.

Химический состав золы-уноса по результатам рентгенофазового анализа, проведенного в аккредитованной лаборатории Института химии твердого тела и механохимии СО РАН, представлен в табл. 1.

Компонент сырьевой композиции — стеклобой — представлял собой измельченные до дисперсности 0,2 – 0,4 мм отходы лабораторного стекла с известным химическим составом.

В качестве основных связующих компонентов использовали глину месторождения “Маслянинское-2” Новосибирской области с примерным химическим составом, приведенным в табл. 2, и глинистый минерал — бентонит (монтмориллонитовая глина) марки П1Т₁ по ГОСТ 28177-89 производства ОАО “Хакасский бентонит”.

В рецептурах изучаемой керамики соотношения основных компонентов (глина, зола-уноса, стеклобой) оставались постоянными, а варьировали только содержание наноразмерной добавки.

Образцы керамики получали по следующей технологии: сырьевые компоненты взвешивали и механически перемешивали в сухом виде, затем вводили необходимое количество воды; далее по технологии полусухого прессования формовали образцы-цилиндры или плитки с размером граней 50 × 50 мм, которые высушивали при комнатной температуре и обжигали по предварительно подобранному режиму в муфельной печи.

Готовые образцы подвергали физико-механическим испытаниям по стандартным методикам для материалов строительного назначения. Определяли предел прочности при сжатии по ГОСТ 8462–85, предел прочности при трехточечном изгибе по ГОСТ 27180–2001. Образцы для испытаний — плитки с размером граней 50 × 50 мм. Образец устанавливается на две цилиндрические опоры радиусом 5 – 10 мм, сверху располагали цилиндр, передающий нагрузку образцу. Исследовали также водопоглощение — изменение массы при насыщении образцов водой и износостойкость — потерю массы плитки при истирании на абразивном круге специальной конструкции по ГОСТ 27180–2001.

Результаты и их обсуждение

Были получены зависимости показателей свойств керамики от содержания наноразмерной добавки SiO_2 в рецептуре. Некоторые из них, позволяющие оценить влияние введения нано- SiO_2 в керамическую массу, не рассматривая особенности формирования рецептур (изменение соотношения других компонентов и методов подготовки сырья), приведены ниже. Большую выборку экспериментальных данных подвергали стандартной статистической обработке, поэтому приведенные ниже результаты можно считать достоверными в пределах указанных среднеквадратических отклонений.

Зависимость предела прочности при сжатии образцов керамики на основе бентонита и необожженной золы-уноса от содержания наноразмерного SiO_2 в рецептуре, приведена на рис. 1а.

Максимум предела прочности (83 МПа) соответствует содержанию добавки 0,5 масс. %. При дальнейшем увеличении массы добавки предел прочности при сжатии практически не меняется и находится на уровне ~70 МПа. Таким образом, введенная добавка повышает прочностные свойства керамики при сжатии примерно в 2,4 раза, при этом установлено, что увеличение количества нано- SiO_2 в рецептуре более 0,5 масс. % не приводит к повышению прочности.

Механизм повышения прочности при сжатии образцов керамики с добавкой нанопорошка можно представить следующим образом: частицы нано- SiO_2 заполняют пустоты между частицами крупного наполнителя, а при обжиге (в зависимости от рецептуры максимальная температура выдержки находится в пределах 1000 – 1150 °С) они расплавляются и образуют более монолитную структуру, чем в случае

более крупного наполнителя выполняющего аналогичную функцию — стеклобоя. Наноразмерный порошок SiO_2 является рентгеноаморфным, без примесей кристаллической фазы, при указанных температурах обжига переходит в расплав [8].

В то же время зависимость предела прочности при трехточечном изгибе от содержания нано- SiO_2 имеет другой вид (рис. 1б). Введенная добавка снижает прочность образцов керамики на основе бентонита и необожженной золы-уноса почти в 2 раза, от 25 до 13 МПа. Согласно литературным данным [12] характер разрушения керамических материалов в зависимости от их фазового состава различен. Их разрушение при сжатии, изгибе или растяжении происходит либо по телу стекловидной фазы, либо по кристаллам. В некоторых случаях в материалах кристаллического строения разрушение происходит по границам зерен без нарушения их целостности. В керамике кристаллического строения прочность связана с энергией кристаллической решетки данного вещества, с межатомными силами [12]. Можно предположить, что уменьшение предела прочности при трехточечном изгибе при увеличении содержания нано- SiO_2 связано с возрастанием количества стекловидной фазы, поэтому разрушение происходит в первую очередь по стеклу, обладающему меньшей прочностью.

Заметим, что в реальных керамических материалах имеется большое количество дефектов как на микро-, так и на макроуровне, приводящих к концентрации напряжений. Поэтому для повышения прочности при изгибе, по-видимому, следует вводить волокнистые материалы — например, углеродные нанотрубки, причем ориентировать их в теле изделия вдоль линий растягивающих сил, действующих при изгибающей нагрузке.

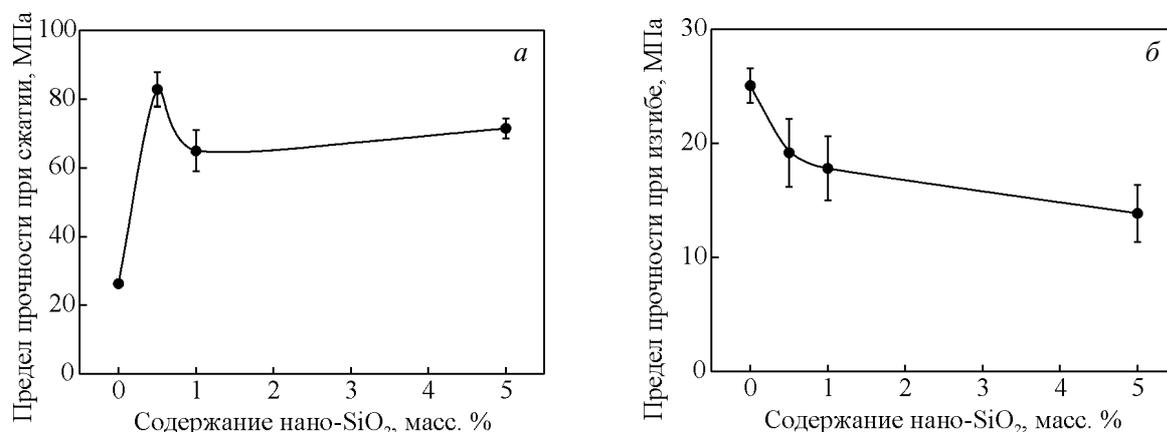


Рис. 1. Зависимость предела прочности: а — при сжатии, б — при трехточечном изгибе образцов от содержания нано- SiO_2 в формовочной массе.

Предварительные исследования водопоглощения образцов на основе бентонита и золы-уноса показывают положительное влияние добавки 0,5 масс. % nano-SiO_2 . Водопоглощение образцов с нанодобавкой снижается в 1,5 – 2 раза. Механизм положительного действия в данном случае представляется в следующем виде: наноразмерная добавка, заполняя пустоты и микропоры, расплавляется при обжиге и таким образом снижает открытую пористость керамики, что положительно сказывается на водопоглощении образцов и, следовательно, на морозостойкости.

Принципиальным отличием предварительно подготовленной золы-уноса (обожженной) и неподготовленной является то, что исходная зола-уноса часто содержит невыгоревший остаток угля — так называемые “потери при прокаливании”, который при обжиге керамических изделий выгорает при температуре более 600 °С оставляя в изделии поры. Именно этим фактом и определяются различия зависимости водопоглощения от содержания наноразмерной добавки для рецептур с обожженной и необожженной золой-уноса.

Зависимость износостойкости (терминология ГОСТ 27180–2001) образцов на основе бентонита от содержания nano-SiO_2 в формовочной массе представлена на рис. 2.

Видно, что с увеличением концентрации nano-SiO_2 стойкость к абразивному износу повышается, то есть происходит уменьшение абсолютных значений потери массы. Это, по-видимому, связано с рассмотренным выше механизмом заполнения микропустот и их оплавлением при обжиге. Как и в случае увеличения прочности при сжатии расплав nano-SiO_2 в микропустотах позволяет сформировать более плотное тело образца.

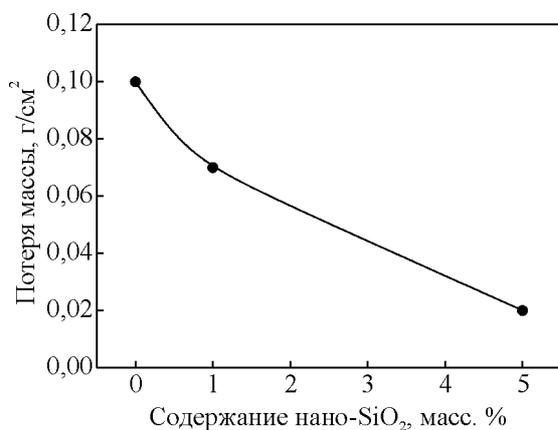


Рис. 2. Зависимость потери массы при истирании образцов на основе бентонита от содержания nano-SiO_2 в формовочной массе.

Некоторая нестабильность полученных результатов, по-видимому, связана с недостаточно равномерным распределением частиц в массе изделия. Трудно ожидать равномерного распределения наночастиц в матричном материале путём только механического перемешивания, скорее всего nano-SiO_2 присутствует в изделиях в виде агломератов, а не отдельных частиц. Во-вторых, причиной разброса данных могут быть незначительные колебания температуры обжига изделий (10 – 30 °С) в силу инертности муфельных печей. Учитывая, что образцы имели относительно небольшие линейные размеры, то наиболее сильно эти колебания будут сказываться на свойствах керамики при максимальных температурах выдержки.

Для устранения неравномерности распределения нанонаполнителя в матрице можно диспергировать частицы nano-SiO_2 первоначально в воде посредством воздействия интенсивного ультразвукового поля, а затем вводить их в шликерную массу керамики. Данный метод был опробован нами при распределении nano-SiO_2 в лакокрасочных материалах и показал положительные результаты [11].

При этом механизм диспергирования можно представить следующим образом: при наложении акустического поля ультразвукового диапазона частот на жидкую среду под действием акустических волн и благодаря эффекту кавитации возможно разбиение конгломератов nano-SiO_2 . По аналогии с механизмами, приведенными в источнике [6], зародыши кавитации — пузырьки микронных размеров — сосредотачиваются на взвешенных в жидкости твердых частицах, в том числе конгломератах nano-SiO_2 , проникают в микропустоты в конгломератах. При наложении на жидкость интенсивного ультразвукового поля зародыши и образованные ими полости начинают пульсировать, растягиваясь в фазе разрежения ультразвуковой волны и сжимаясь в фазе сжатия. При схлопывании кавитационного пузырька в микрообъеме жидкости формируется ударная волна, обладающая большой мощностью. Разрушающее действие ударной волны приходится на поверхность твердых тел и пространство внутри пор, оказавшихся в зоне схлопывания пузырька.

В продолжение данной работы планируется изучение влияния различных режимов ультразвукового воздействия — изменение частоты, интенсивности, статического давления, температуры жидкой среды и др. на интенсивность диспергирования наночастиц. Также планируется с целью повышения прочностных свойств керамики с использованием твердых отходов оптимально подбирать соотношение частиц матричного материала и наноразмерного

наполнителя с учетом плотности упаковки частиц матричного материала и межзеренных пустот.

Выводы

Показано, что введение наноразмерных частиц SiO₂ положительно сказывается на свойствах керамических изделий не только в случае использования традиционных природных компонентов (глина, бентонит), но и сложных с химической точки зрения многокомпонентных систем, включающих как природные, так и искусственные составляющие (стеклоплавные и золошлаковые отходы).

Получен патент РФ на рецептуру керамического материала с использованием твердых техногенных отходов и наноразмерного наполнителя [8].

Литература

1. Давтян С.П., Берлин А.А., Шик К., Тоноян А.О., Рогозина С.З. Полимерные наноккомпозиты с равномерным распределением наночастиц в полимерной матрице, синтезированные методом фронтальной полимеризации. *Российские нанотехнологии*, 2009, т. 4, № 7 – 8, с. 122 – 129.
2. Ларичкин В.В., Немущенко Д.А. и др. Опыт использования наноразмерных наполнителей, в том числе в рецептуре керамики на основе твердых отходов. *Наука. Промышленность. Оборона: труды 15 Всероссийской научно-технической конференции*, Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014, с. 371 – 384.
3. Христофоров А.И., Христофорова И.А., Еропов О.Л. Модификация бетонов наночастицами и органическими веществами, *Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки*, 2012, т. 17, № 3, с. 991 – 995.
4. Григорьев М.В. Исследование физико-механических свойств алюмооксидной пористой керамики при добавлении нанокристаллической фазы, *Физика и химия высокоэнергетических систем*, Томск: ТМЛ-Пресс, 2008, с. 29 – 30.
5. Мордкович В. и др. Наноккомпозиты на основе полиолефинов и углеродных наночастиц и нановолокон, *Наноиндустрия*, 2009, № 1, с. 20 – 22.
6. Golitz J.T., Mainieri J.F., Bennett V.H., Moore R.D., Paxton A.M. Ceramic products, of glass, fly ash and clay and methods of making the same. Pat. 5,583,079 United States of America, C03C 1/00, C03C 1/02, C04B 18/06. № 367,851; filed 19.07.94; date of patent 10.12.96.
7. Лукашов В.П., Бардаханов С.П., Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния. Патент Российской Федерации, № 2067077, МПК⁶ C01B 33/88. Заявители: Лукашов В.П., Бардаханов С.П., Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В.; патентообладатель Бардаханов С.П. № 94002568/26; заявл. 26.01.94; опубл. 27.09.96, 6 с.

8. Пушко В.А., Драничникова А.А., Ларичкин В.В., Немущенко Д.А. Смесь для изготовления керамической плитки. Патент Российской Федерации № 2487846, МПК C04B 33/135, B82B 3/00. Патентообладатель ФГБОУ ВПО “Новосибирский государственный технический университет”, № 2011150606/03; заявл. 12.12.11; опубл. 20.07.13, Бюл. №20, 6 с.
9. Бардаханов С.П., Говердовский В.Н., Лысенко В.И., Номоев А.В., Труфанов Д.Ю., Лыгденов В.Ц. Влияние нанопорошка таркосила на свойства эмалей. *Лакокрасочные материалы и их применение*, 2009, № 7, с. 32.
10. Агранат Б.А., Гудович А.П., Нежевенко Л.Б. Ультразвук в порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1986, 168 с.
11. Немущенко Д.А., Мальков А.С. Лакокрасочные материалы, модифицированные наноразмерными частицами. *Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых “Наука. Технологии. Инновации”*, 2 – 4 декабря 2011 г., Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011, часть 3, с. 92 – 95.
12. Матренин С.В., Слосман А.И. *Техническая керамика*. Томск: Изд-во ТПУ, 2004, 75 с.

References

1. Davtyan S.P., Berlin A.A., Shik K., Tonoyan A.O., Rogozina S.Z. Polimernye nanokompozity s ravnomernym raspredeleniyem nanochastits v polimernoy matritse, sintezirovannyye metodom frontalnoy polimerizatsii [Polymer nano-compounds with homogeneous distribution of nano-particles in polymer matrix synthesized by frontal polymerization]. *Rossyskiye nanotekhnologii — Nanotechnologies in Russia*, 2009, vol. 4, no. 7 – 8, pp. 122 – 129.
2. Larichkin V.V., Nemushchenko D.A., et al. Opyt ispolzovaniya nanorazmernykh napolniteley, v tom chisle v retsepture keramiki na osnove tverdykh otkhodov [Experience of the use of nanosized fillers in formulation of ceramics on the base of solid waste]. Proc. 15 All-Russian Conf. “*Nauka. Promyshlennost. Oborona*” [Science. Industry. Defence], Novosibirsk: Novosibirsk State Technical Univ. Publ., 2014, pp. 371 – 384.
3. Khristoforov A.I., Khristoforova I.A., Erolov O.L. Modifikatsiya betonov nanochastitsami i organicheskimi veshchestvami [Concrete modification with nanoparticles and organic substances]. *Vestnik Tambovskogo universiteta, ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Herald of the Tambov Univ., ser.: Natural and Technical Sciences], 2012, vol. 17, No. 3, pp. 991 – 995.
4. Grigoriev M.V. Issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv alyumooksidnoy poristoy keramiki pri dobavlenii nanokristallicheskoy fazy [An investigation of the physical-mechanical properties of alumina ceramics with nanocrystalline phase additive]. In: *Fizika i khimiya vysokoenergeticheskikh sistem* [Physics and Chemistry of High-Energy Systems]. Tomsk: TML-Press Publ., 2008, pp. 29 – 30.

5. Mordkovich V., et al. Nanokompozity na osnove poliolefinov i uglerodnikh nanochastits i nanovolonok [Nanocomposites on the base of polyolefine and carbon nanoparticles and nanofibres]. *Nanoindustriya* [Nanoindustry], 2009, No. 1, pp. 20 – 22.
6. Golitz J.T., Mainieri J.F., Bennett B.H., Moore R.D., Paxton A.M. Ceramic products, of glass, fly ash and clay and methods of making the same. US Pat. 5,583,079, C03C 1/00, C03C 1/02, C04B 18/06, no. 367,851; filed 19.07.94; date of patent 10.12.96.
7. Lukashov V.P., Bardakhanov S.P., Salimov R.A., Korchagin A.I., Fadeyev S.N., Lavrukhin A.V. Pat. 2067077 Rossiyskaya Federatsiya, MPK6 S01V 33/88. *Sposob polucheniya ultradispersnoy dnuokisi kremniya, ustroystvo dlya ego osushchestvleniya i ultradispersnaya dnuokis kremniya* [The way of ultra-dispersion silicon dioxide obtaining]. Patent RF 2067077, C01B 33/88, 27.09.96.
8. Pushko V.A., Dranichnikova A.A., Larichkin V.V., Nemushchenko D.A. *Smes dlya izgotovleniya keramicheskoy plitki* [Mixture for ceramic tile production]. Patent RF 2487846, C04B 33/135, B82B 3/00, 20.07.13.
9. Bardakhanov S.P., Goverdovsky V.N., Lysenko V.I., Nomoyev A.V., Trufanov D.Yu., Lygdenov V.Ts. Vliyaniye nanoporoshka tarkosila na svoystva emaley. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye* [Effect of tarcosil nano-powder on enamel properties]. *Lakokrasochnie materialy I ikh primeneniye — Russian coatings journal*, 2009, no. 7, p. 32.
10. Agranat B.A. Gudovich, L.B. Nezhevenko A.P. *Ultrazvuk v poroshkovoy metallurgii* [Ultrasound in powder metallurgy]. Moscow, Metallurgia Publ., 1986, 168 p.
11. Nemushchenko D.A., Malkov A.S. *Lakokrasochnye materialy, modifitsirovannye nanorazmernymi chastitsami* [Lacquer-paint materials modified by nano-sized particles]. *Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii Nauka. Tekhnologii. Innovatsii* [Proc. All-Russia conf. Science. Technology. Innovations], 2 – 4 Dec 2011, Novosibirsk, NSTU Publ., part. 3, pp. 92 – 95.
12. Matrenin S.V., Slosman A.I. *Tekhnicheskaya keramika* [Technical ceramics]. Tomsk, Polytechnic University Publ., 2004, 75 p.

Статья поступила в редакцию 24.02.2014 г.

Ларичкин Владимир Викторович — ФГБОУ ВПО “Новосибирский государственный технический университет” (г. Новосибирск), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, специалист в области технологий переработки и утилизации техногенных образований и отходов. E-mail: larichkin@craft.nstu.ru.

Немущенко Дмитрий Андреевич — ФГБОУ ВПО “Новосибирский государственный технический университет” (г. Новосибирск), ассистент кафедры, специалист в области технологий переработки и утилизации техногенных образований и отходов. E-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru.

Кальнеус Вероника Анатольевна — ФГБОУ ВПО “Новосибирский государственный технический университет” (г. Новосибирск), студентка 2-го курса магистратуры, специализируется в области технологий переработки и утилизации техногенных образований и отходов. E-mail: nikri42@gmail.com.

Куницына Екатерина Александровна — ФГБОУ ВПО “Новосибирский государственный технический университет” (г. Новосибирск), студентка 4-го курса, специализируется в области технологий переработки и утилизации техногенных образований и отходов. E-mail: kea_93@mail.ru.

Леготин Александр Вадимович — ФГБОУ ВПО “Новосибирский государственный технический университет” (г. Новосибирск), студент 1-го курса магистратуры, специализируется в области технологий переработки и утилизации техногенных образований и отходов. E-mail: alive_fire@mail.ru.

Слесаренко Ростислав Андреевич — ФГБОУ ВПО “Новосибирский государственный технический университет” (г. Новосибирск), студент 4-го курса, специализируется в области технологий переработки и утилизации техногенных образований и отходов. E-mail: hahahhaaaaa@bk.ru.

Research of physical and mechanical properties of ash-ceramic with nanoparticles SiO₂ as functional addition

**V. V. Larichkin, D. A. Nemuschenko, V. A. Kal'neus, E. A. Kunicina,
A. V. Legotin, R. A. Slesarenko**

Effect of modifier SiO₂ nanoparticles on physical and mechanical properties (water absorption, deep abrasion, concrete compressive strength and flexural strength) of ceramic consist from ash of thermal power station, glass waste and clay were investigated. Effect of SiO₂ nanoparticles on consumer properties of ceramic was determined. Results of researches are generalized on diagram and positive influence of this nanoadditive on properties of ceramic product is shown. The direction of further researches for ceramic properties increase is proposed.

Key words: ceramic, slag waste, fly ash, glass, nanomaterial, silicium dioxide.

***Larichkin Vladimir** — Novosibirsk state technical university, DrSci (Eng), professor, head of department of Engineering problems of ecology. E-mail: larichkin@craft.nstu.ru.*

***Nemuschenko Dmitry** — Novosibirsk state technical university, assistance lecturer. E-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru.*

***Kal'neus Veronica** — Novosibirsk state technical university, second year student. E-mail: nikpi42@gmail.com.*

***Kunicina Ekaterina** — Novosibirsk state technical university, fourth year student. E-mail: kea_93@mail.ru.*

***Legotin Aleksander** — Novosibirsk state technical university, first year. E-mail: alive_fire@mail.ru.*

***Slesarenko Rostislav** — Novosibirsk state technical university, fourth year student. E-mail: hhhhhaaaaa@bk.ru.*