



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

- ▲ Огнеупоры в тепловых агрегатах
- ▲ Сырьевые материалы
- ▲ Теплотехника
- ▲ Производство и оборудование
- ▲ Научные исследования и разработки
- ▲ Экономика и рынок
- ▲ Изобретения
- ▲ Информация и хроника

С Новым Годом!

12

ДЕКАБРЬ 2013

ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ

- ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- ФОРМОВАННЫЕ ИЗДЕЛИЯ И НЕФОРМОВАННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:
СЫРЬЕ, ПРОИЗВОДСТВО, СЛУЖБА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР — КОМПАНИЯ «АПИАТИС»

ПАРТНЕРЫ:

«ЕВРАЗХОЛДИНГ»

ОАО «МЕЧЕЛ»

ОАО «МАГНИТОГОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

ОАО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ»

ОАО «ПЕРВОУРАЛЬСКИЙ ДИНАСОВЫЙ ЗАВОД»

ООО «КЕРАПИТ»

«КОФЕРНИН РОШТОФФЕ ГмбХ»

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА —
ЖУРНАЛЫ «НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ», «СТАЛЬ»

КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОВОДИТСЯ
В РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РФ
МОСКВА, ПРОСПЕКТ ВЕРНАДСКОГО, 82

ПО ВСЕМ ВОПРОСАМ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:
ООО «ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ»
127006, МОСКВА, СТАРОПИМЕНОВСКИЙ ПЕР., 8,
СТР. 1-1А
ТЕЛ.: (495) 699-97-85, 755-90-91
ФАКС: (495) 755-90-40
E-MAIL: OGNEUPOR@IMET.RU, INFO@IMET.RU

3-4 АПРЕЛЯ
2014 года

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

АБРАМОВ Е. П.
ГРИШПУН Е. М.
ДИБРОВ И. А.
ЗАЙЦЕВ В. А.
ЗАКАРЯН О. К.
ИВАНУШКИН А. Г.
ЛЕБЕДЕВ Ю. Н.
ЛУКЬЯНОВ В. Б.
МОЖЖЕРИН В. А.
ОДЕГОВ С. Ю.
САРЫЧЕВ В. Ф.
СКОРОХОДОВ В. Н.
ЭНТИН В. И.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **КРАСНЫЙ Б. Л.**
Зам. главного редактора **КАЩЕЕВ И. Д.**

АКСЕЛЬРОД Л. М.	МИГАЛЬ В. П.
АНТОНОВИЧ В.	МОСИНА Т. В.
АНЦИФЕРОВ В. Н.	ОВСЯННИКОВ В. Г.
БАРИНОВ С. М.	ОЙСТРАХ А. В.
БЕЙЛИНА И. Ю.	ОРДАНЬЯН С. С.
БЕЛОУСОВА В. Ю.	ОЧАГОВА И. Г.
БЕЛЯКОВ А. В.	ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. А.
БУРАВОВ А. Д.	ПИВИНСКИЙ Ю. Е.
ВЕРЕЩАГИН В. И.	ПОМОРЦЕВ С. А.
ВИКУЛИН В. В.	ПРИМАЧЕНКО В. В.
ВИСЛОГУЗОВА Э. А.	ПЫРИКОВ А. Н.
ВЯТКИН А. А.	СЕМЧЕНКО Г. Д.
ГУРИН В. Н.	СИЗОВ В. И.
ДАВЫДОВ С. Я.	СОКОВ В. Н.
ДОРОГАНОВ В. А.	СОКОЛОВ В. А.
ДРУЖИНИН Г. М.	СУВОРОВ С. А.
ИЛЬЮЩЕНКО А. Ф.	СУЗДАЛЬЦЕВ Е. И.
КОНАКОВ В. Г.	ТАРАСОВСКИЙ В. П.
КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.	ТРАВИЦКОВА А. Н.
ЛУКИН Е. С.	

Научные редакторы **Г. Г. Гаврик, А. Н. Синицына**
Художник-дизайнер **Т. П. Кошкина**
Компьютерная верстка **Т. П. Кошкиной**
Корректор **Ю. И. Королёва**

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55550 от 07.10.2013 г.

Адрес редакции:
127006, Москва, Старопименовский пер., 8, стр. 1-1А
Тел.: (495) 755-90-91, 699-97-85. Тел./факс: (495) 755-90-40
E-mail: ogneupor@imet.ru, info@imet.ru
Internet: www.imet.ru



Статьи из журнала переводятся на английский язык и публикуются
в журнале «**Refractories and Industrial Ceramics**»,
издаваемом международным информационно-издательским
консорциумом «Springer»

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Первая оперативная типография»
115114, Москва, 2-й Кожовнический пер., д. 12, стр. 5
Тел.: 8 (495) 604-41-54, 8 (495) 994-49-94

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России
для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук,
в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН, а также в каталог российских электронных периодических изданий

Ответственность за достоверность информации в публикуемых
материалах и рекламе несут авторы и рекламодатели.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов
опубликованных материалов

Подписано в печать 16.12.13. Формат 60×84 1/8.
Бумага мелованная
Цифровая печать. Усл. печ. л. 9,00
Уч.-изд. л. 8,82. Заказ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Завёрткин А. С. Применение кварцевых и кварц-полевошпатовых песков в формовочных смесях для чугуна.....3

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Коряков В. Н. Устройство для тепловлажностной обработки воздуха.....7

ТЕПЛОТЕХНИКА

Тимошенко Д. А., Коломыцев Е. Е. Сушка футеровки тепловых агрегатов.....12

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Кашчев И. Д., Михеенков М. А., Земляной К. Г. Особенности синтеза высокоглиноземистых клинкеров в присутствии метастабильных фаз.....15

Боровик С. И., Лысова Г. А., Чуклай А. М. Кинетические особенности процессов термической деструкции временного технологического связующего, модифицированного меласой свекловичной, в производстве периклазовых термостойких огнеупоров.....19

Хмель А. В. Применение СВС в сухих смесях порошков металла и окислителей.....25

Чжоу Ю. Х., Шэнь К., Цзэн Ц. Тепловые характеристики отходов из плавленной кварцевой керамики и возможности их применения для производства ювелирных отливок.....30

Дьяконов В. А., Лукин Е. С., Неведова Н. В., Пронин Б. Ф., Филатов Е. Н. Высокотемпературные исследования теплозащитных композиционных материалов класса «оксид—оксид».....33

Кузин В. В., Григорьев С. Н., Ермолин В. Н. Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки. Часть 2. Влияние тепловой нагрузки.....35

Судальцев Е. И., Миронова Е. В. Влияние технологических факторов на качество соединения керамики и металла герметиками Висксинт У-2-28(НТ) и Висксинт У-1-18(НТ).....40

ЭКОНОМИКА И РЫНОК

Статистика

Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в мае 2013 г.44

Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в мае 2013 г.44

Мировое производство чугуна в мае 2013 г.45

Мировая выплавка стали в мае 2013 г.46

Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....48

ИЗОБРЕТЕНИЯ

Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....49

РЕЦЕНЗИИ

Кашчев И. Д. О монографии «Техногенное минеральное сырье Урала» В. А. Перепелицына, В. М. Рытвина, В. А. Коротева, А. Б. Макарова, В. Г. Григорьева, Г. И. Гильварга, В. А. Абызова, Ф. А. Табуловича.....51

ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА

Беляков А. В. 80 лет кафедрам, выпускающим силикатчиков, в РХТУ им. Д. И. Менделеева.....53

Полипласт-инфо. II Всероссийская конференция производителей бетонов (пресс-релиз).....56

Статьи, опубликованные в журнале «Новые огнеупоры» в 2013 г.58

Abstracts.....70

RAW MATERIALS

Zavertkin A. S. The using of additives of quartz and quartz-feldspar in the sands for iron casting.....3

MANUFACTURING AND EQUIPMENT

Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Koryukov V. N. Steam-curing air treatment equipment.....7

HEAT ENGINEERING

Timoshenko D. A., Kolomytsev E. E. The drying of the thermal vessels' linings.....12

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Kashcheev I. D., Mikheenkoy M. A., Zemlyanoi K. G. Distinguishing features of high-alumina clinkers with metastable phases presence.....15

Borovik S. I., Lysova G. A., Chuklai A. M. Kinetic peculiarities of the thermal decomposition for temporary technological binder modified by raw beet molasses in the production of periclase heat-resistant refractories.....19

Hmelov A. V. The application of self-propagating high temperature synthesis to dry powder mixtures: the metal and oxidizer powders.....25

Yongheng Zhou, Keya Shen, Qun Zeng. Thermal characteristics of fused silica ceramic waste and its application in casting.....30

D'yakonov V. A., Lukin E. S., Nefedova N. V., Pronin B. F., Filatov E. N. High-temperature research of heat-proof SiO₂—SiO₂ composites.....33

Kuzin V. V., Grigoriev S. N., Ermolin V. N. Strain inhomogeneity in the ceramics' surface layer under the external load. Part II. The influence of the thermal load.....35

Suzdal'tsev E. I., Mironova E. V. The influence of the processing conditions on the quality of ceramic-metal linking by means of sealants Viskint U-2-28(HT) and Viskint U-1-18(HT).....40

ECONOMICS AND MARKET

Statistics

The manufacturing of specific groups of ferrous metallurgy products in Russia in 2012 and May 2013.....44

The manufacturing of specific groups of other nonmetallic mineral product in Russia in May 2013.....44

World production of iron in May 2013.....45

World production of steel in May 2013.....46

Price-list for variety of refractory raw materials.....48

INVENTIONS

Review of patents of the Russian Federation for inventions in refractories (conclusion).....49

REVIEWS

Kashcheev I. D. On the monograph "Industrial mineral raw materials of Ural Mountains" of the authors Perepelitsyn V. A., Rytvin V. M., Koroteev V. A., Makarov A. B., Grigoriev V. G., Gil'varg G. I., Abyzov V. A., Tabulovich F. A.....51

INFORMATION

Belyakov A. V. The departments of D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia which qualify silicate engineers turned out eighty.....53

Polyplast-info. 2nd All-Russia Conference of the Concrete Manufacturers (press-release).....56

Guide index of the articles published in the journal «Novye ognepory» in 2013.....58

Abstracts.....70

УДК 621.742.5.06.55

ПРИМЕНЕНИЕ КВАРЦЕВЫХ И КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВЫХ ПЕСКОВ В ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЯХ ДЛЯ ЧУГУННОГО ЛИТЬЯ

Проведены исследования по применению кварцевых и кварц-полевошпатовых песков для форм и стержней чугунного литья. Обоснована необходимость их применения в качестве формовочных материалов для получения чугунных отливок массой до 1500 кг и корпусов сушильных цилиндров массой до 36 т. Сделаны выводы о преимуществах гусаровского, карельского и финского песков перед применяемыми кварцевыми песками. Кроме песков использовали портландцемент, глину, жидкое стекло, графит и шунгит. Углеродсодержащие материалы вводили в состав смеси для улучшения формовочных, физико-механических и противопригарных свойств. Были отработаны и предложены рецептуры смесей, технологии плавки и заливки металла. Для изготовления стержней из песчано-цементных смесей при получении отливок корпусов сушильных цилиндров для бумагоделательных машин необходимо применять пески зернистостью 0,5–1,0 мм с содержанием глинистой составляющей не более 0,6 %.

Ключевые слова: кварцевые и кварц-полевошпатовые пески, формовочные смеси, плавка, чугун, отливка, сушильные цилиндры.

В связи с повышением требований к качеству литья проблема обеспечения литейного производства высококачественными песками остается актуальной. К отливкам сушильных цилиндров предъявляются высокие требования по шероховатости поверхности, прочности и износоустойчивости. Корпус цилиндра отливают из высоколегированного чугуна, по механическим свойствам близкого к стальному литью, серого чугуна с пластинчатым графитом, легированного Cr, Ni, Mo, Cu, или из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Литейный завод АО «Петрозаводскмаш» испытывает недостаток в песках зернистостью 0,6–0,8 мм, используемых при получении сушильных цилиндров. Для решения этой проблемы завод неоднократно завозил формовочный песок фирмы «Валмет» из Финляндии, а также с Гусаровского месторождения из Украины. Цель настоящей работы — выявление возможностей замены импортного и привозного формовочного песка карельским.

Научно-технический прогресс заставляет литейщиков и металлургов повышать требования к качеству формовочных материалов. В составах перспективных формовочных смесей и противопригарных покрытий рекомендуются и применяются в основном высококондиционные материалы: обогащенные кварцевые пески, пылевидные кварц, циркон, бентонит, графит, корунд и др. [1–5]. Из-за повышенного спроса эти материалы становятся все более дефицитными. Часто перевозимые в железнодорожных вагонах формовочные материалы загрязняются остатками предыдущих перевозимых грузов и материалов, что ухудшает качество песка. Таким образом, использование местных формовочных песков актуально. Литейные формы, по мнению Г. Инсли [3], имеют связь с необожженной керамикой или безобжиговым огнеупором. Эти материалы работают при высоких температурах и подвергаются воздействию расплавленного металла при заливке чугуна или других сплавов. Сопутствующие

кварцу минералы в кварцевых песках обычно вредны вследствие ухудшения огнеупорных свойств полученных из этих материалов форм и стержней.

На технологические свойства смесей оказывает влияние гранулометрический состав песков. Для чугунного плацевого и конвейерного литья литейный завод АО «Петрозаводскмаш» применяет пески Новинского и Струго-Красненского карьеров, расположенных на северо-западе России.

В настоящей работе изучали зерновой, химический и минеральный составы привозимых в АО «Петрозаводскмаш» формовочных песков и песков с территории Республики Карелия для выяснения зависимости противопригарных и огнеупорных свойств от формы, величины зерен, а также от химического и минерального составов. Количество глинистой составляющей в песках определяли на приборе модели 021, ситовый анализ выполняли на приборе модели 028м. Физико-механические свойства смесей исследовали на образцах диаметром и высотой 50 мм. При изготовлении образцов из песчано-цементных смесей в качестве связующего применяли портландцемент марки 400–500 с периодом схватывания не менее 45 мин Пикалёвского глиноземного комбината. Образцы из песчано-цементных смесей после изготовления выдерживали до испытаний в течение 24 и 48 ч. Жидкое натриевое стекло с модулем 2,8–3,0 плотностью 1300 кг/м³ применяли для жидкостекольной смеси, которую использовали для облицовочной и стержневой смеси конвейерного и плацевого чугунного литья, а также в качестве состава для ремонта форм и стержней сушильных цилиндров. Составы для обмазки форм сушильных цилиндров готовили с применением гусаровского песка с добавкой в качестве связующего глины. Для улучшения противопригарных свойств смеси в ее состав дополнительно вводили серебристый графит, добавка которого одновременно способствовала лучшему нанесению обмазки на форму сушильного цилиндра, снижа-

ла инфильтрацию металла и шлака в ее стенку, улучшая противопожарные свойства облицовочного слоя. В качестве формовочных песков помимо гусаровского были исследованы новинский и струго-красненский. Данные исследований новинского и струго-красненского песка показали, что они по зерновому, химическому составу, газопроницаемости и огнеупорности соответствуют маркам 2K02Б, 4K0315А и Б по ГОСТ 2138.

Содержание кремнезема в гусаровском песке [6] от 96,5 до 98,0 мас. %. Количество примесей находилось в пределах, мас. %: оксиды железа от 0,3 до 0,7, суммарное содержание оксидов кальция, магния, натрия и калия от 0,5 до 1,3, потери при прокаливании от 0,3 до 0,8. Газопроницаемость песка 700–860 мкм², огнеупорность 1700–1710 °С. По зерновому, химическому составу, газопроницаемости, наличию вредных примесей и огнеупорности поставляемый Гусаровским карьером песок соответствовал требованиям марок 1-2K04А и Б по ГОСТ 2138.

Необходимо отметить, что струго-красненский песок более мелкозернистый по сравнению с гусаровским и с большим количеством вредных примесей, что способствовало появлению брака отливок по термехимическому пригару и газовым раковинам.

Карельский и финский пески рассевали на фракции, после чего определяли химический состав каждой из них. В финском песке минимальное количество кремнезема (70,24 мас. %) содержит фракция на сетке с ячейками 1×1 мм, максимальное (79,86 мас. %) фракция на сетке 0,2 × 0,2 мм. Фракция на сетках от 0,1 до 1,0 мм характеризуется повышенным содержанием оксидов алюминия, натрия и калия. Во фракции песка мельче 0,1 мм большее содержание оксидов железа и магния и более высокие потери при прокаливании. Количество глинистой составляющей в финском песке, по нашим данным, не превышает 0,4 мас. %, зернистость песка от 0,4 до 1,0 мм, содержание кремнезема от 70 до 80 %. Финский песок более крупный по сравнению с гусаровским и струго-красненским (табл. 1–3). При практическом использовании песков, поставленных с Гусаровского карьера и фирмой «Валмет» литейному заводу АО «Петрозаводскмаш», были получены хорошие результаты при изготовлении отливок корпусов сушильных цилиндров [7].

Для качественной оценки импортного и карельского песков были отобраны пробы этих материалов, проведены лабораторные и промышленные испытания. Наиболее подробно нами были изучены пробы карельских песков № 27, 30 и 32. Проба № 27 отобрана в районе п. Пряжа Республики Карелия из флювиогляциальной дельты, которая находится вблизи АЗС по дороге на Крошнозеро. Месторождение площадью 2 × 0,5 км² простирается от южного края п. Пряжа в юго-западном направлении и имеет прогнозные P_3 запасы около 1 млн м³.

Проба № 30 была отобрана из действующего песчаного карьера, расположенного в 5 км на запад от п. Эссоила по дороге на Вешкелицы. Карьер расположен вблизи автомобильной дороги и связан отдельной веткой с железной дорогой. Ориентировочные прогнозные запасы P_3 песка составляют 2,25 млн м³.

Проба № 32 отобрана из озерно-ледниковых песков в районе п. Инжунаволок, расположенного на западном берегу оз. Сямозеро, вблизи дороги Эссоила – Курмойла – Сяргилахта. Предварительные запасы песка 0,5–1 млн м³.

В пробах карельских песков более 70 % зерен сосредоточено во фракциях крупнее 0,2 мм, что позволяет получать из этих песков формовочные и стержневые смеси с необходимой газопроницаемостью для производства тяжелого чугуна и литья, в том числе и корпусов сушильных цилиндров. Зерновой состав кварц-полевошпатовых и кварцевого струго-красненского песков приведен в табл. 1, химический и минеральный составы исследованных песков — в табл. 2 и 3.

Отличие импортного песка от карельского заключается в незначительном отклонении в зерновом составе в сторону увеличения крупных фракций. Анализ химического и минерального составов показал, что финский песок содержит большее количество гидроксидов железа. Кварцевые пески отличаются от кварц-полевошпатовых по содержанию кремнезема и примесей.

Исследованиями химического и зернового составов карельских песков выявлено их незначительное отличие от финского песка по этим характеристикам. Наиболее близким по химическому составу к импортному песку следует считать сямозерский песок (проба № 32). Содержание кремнезема в карельских исследованных песках находилось в пределах от 73 до 85 мас. %.

Минералогические исследования показали, что основная масса импортного и карельского песков представлена зернами кварца. В песках в одинаковом количестве содержится плагиоклаз, микроклин, моноклинный амфибол и биотит. Форма зерен песка угловатоокатанная. Различие состоит в том, что в финском песке содержится до 0,45 мас. % гидроксидов железа. По содержанию кремнезема и вредных примесей эти

Таблица 1. Зерновой состав исследованных песков, остаток на ситах, мас. %

Показатели	Карельский песок пробы			Финский песок	Струго-красненский песок
	27	30	32		
Фракция песка, мм:					
2,5	–	0,2	0,2	–	–
1,6	0,4	1,0	1,8	3,35	0,42
1,0	3,6	3,8	10,6	16,0	1,78
0,63	18,7	11,0	31,4	41,15	7,28
0,4	16,3	9,0	20,6	28,9	20,9
0,315	37,9	32,0	22,0	5,8	21,78
0,2	12,1	19,6	5,2	2,0	33,38
0,16	6,7	14,4	4,6	0,9	8,4
0,1	1,8	4,6	1,4	0,15	4,38
0,063+0,05	1,8	4,2	1,7	0,4	0,3
<0,05	0,08	0,2	0,5	0,3	0,2
Глинистая составляющая, %	0,38	0,4	0,56	0,47	0,35
Сумма	99,76	99,4	99,96	99,8	99,17
Сумма на 3 смежных ситах	72,9	65,0	74,0	86,05	76,06

пески относятся к классу кварц-полевошпатовых с содержанием кремнезема менее 90 мас. %. Карельский песок в естественном виде содержит от 0,5 до 4,5 мас. % глинистой составляющей. В пробах № 25–29 более 70 мас. % зерен сосредоточено во фракциях крупнее 0,2 мм, что дает возможность получить после регенерации песок с улучшенным зерновым составом, который можно использовать для получения отливок крышек и корпусов сушильных цилиндров.

Результаты изучения зернового, химического и минерального составов кварцевых новинского, струго-красненского и гусаровского песков показали, что они отличаются от карельских кварц-полевошпатовых песков по содержанию как кремнезема, так и других компонентов, а также по зерновому и минеральному составам. Были проведены лабораторные и промышленные испытания карельских и привозных кварцевых песков в формовочных смесях для получения чугунного литя, подобраны составы жидко-

стекольных, песчано-цементных и песчано-глинистых смесей. Вначале из подобранных смесей готовили для мелких отливок массой 20–100 кг стержни и формы, которые заливали чугуном при 1330–1340 °С. Чугун выплавляли в лабораторной индукционной тигельной печи ИСТ-0,06. На всех образцах отливок, полученных с применением карельских песков, была чистая, без пригара поверхность, не было также обнаружено дефектов. Из карельского песка пробы № 32 были изготовлены стержни для получения отливки массой 1500 кг с толщиной стенки до 182 мм. Перед установкой в форму стержни окрашивали заводским противопопригарным покрытием из талька и серебристого графита на основе лака ВЛ-557, а также покрытий с дополнением шунгита. При минералогическом исследовании, проведенном на микроанализаторе TESCAN, состава с шунгитовой добавкой были обнаружены новообразованные волокнистые частицы, по форме похожие на «нанотрубки», содержащие углерод, кислород, азот, серу, калий и хром (рис. 1). На рис. 2 [1 (2)] показан контактный слой формы сушильного цилиндра с металлом после заливки формы чугуном. Исследования проведены на микроанализаторе TESCAN.

Песчано-цементную смесь в условиях производства готовили в смешивающих бегунах. Количество портландцемента марки 400 с периодом схватывания от 45 до 120 мин, выпускаемого Пикалевским глиноземным комбинатом, в исследуемых смесях 11, 13 и 15 мас. %, водно-цементное отношение 0,4. Величина зерен применяемых песков колебалась от 0,2 до 0,6 мм, влажность смеси — от 5,4 до 6,4 мас. %, прочность смеси через 24 ч — от 1,0 до 5,0 МПа, через 48 ч — от 1,2 до 7,5 МПа, газопроницаемость — от 140 до 500 мкм² осыпaeмoсть — от 1,2 до 1,7 %. Было установлено, что чем больше дисперсность песка, тем больше предел прочности при сжатии и газопроницаемость смеси. При проведении исследования определяли влияние количества цемента на прочность, газопроницаемость и осыпaeмoсть смеси. Через 24 ч в смесях с одинаковым

Таблица 2. Химический состав исследованных песков, мас. %

Оксид	Карельский песок пробы			Финский песок	Струго-красненский песок
	27	30	32		
SiO ₂	80,90	79,26	77,22	76,18	91,26
TiO ₂	0,20	0,14	0,12	0,12	Сл.
Al ₂ O ₃	10,21	10,90	11,97	12,52	1,42
Fe ₂ O ₃	0,60	1,12	0,97	0,76	0,80
FeO	0,36	0,43	0,57	0,72	0,19
MnO	0,014	0,015	0,014	0,029	–
MgO	0,40	0,51	0,60	0,60	0,97
CaO	1,31	1,68	1,54	1,96	2,45
Na ₂ O	3,20	3,28	3,80	3,10	1,75
K ₂ O	2,45	2,10	2,30	3,35	–
H ₂ O	0,20	0,03	0,08	0,20	–
И. м. п. п.	0,14	0,52	0,68	0,35	0,94

Таблица 3. Минеральный состав исследованных песков*

Песок	Проба	Минеральный состав, мас. %				
		кварц	плагиоклаз	микроклин	зерна глинистого состава	остальные минералы
Пряжинский	№ 27	78	10,2	6,4	Сл.	Амфибол 2,5, группы эпидота 0,5, слюды 2,0
Эссойльский	№ 30	72,0	18,9	5,2	Ед.	Моноклин+амфибол 1,852, биотит 0,55, группы эпидота 0,81
Инжунаволоцкий	№ 32	71,0	12,5	8,5	Сл.	Амфибол 4,0, группы эпидота 1,0, слюды 2,0
Финский	Валовая	72,87	16,4	6,55	0,17	Гидроксиды железа 0,45, моноклинный амфибол 2,05, биотит 0,62, группы эпидота 0,13
Новинский	Со склада песка	96,55	2,42	Ед.	Ед.	Карбонат 0,63, гидроксиды железа 0,1
Струго-красненский	С прирельсового склада	84,42	1,39	3,0	Ед.	Карбонат 0,65, ильменит 0,1, гидроксиды железа 0,1

* Форма зерен угловатоокатанная.

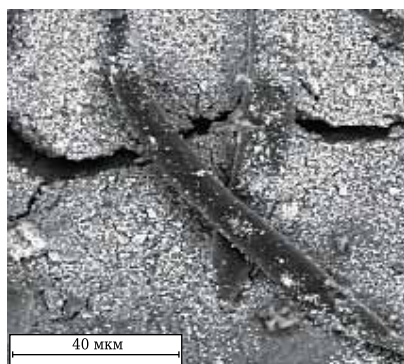


Рис. 1. Волокнистые образования в смеси огнеупорной глины с шунгитом

зерновым составом песка при содержании цемента 11, 13 и 15 % предел прочности при сжатии 0,9, 1,1 и 2,7 МПа, газопроницаемость смеси 341, 275 и 170 мкм², осыпаемость 5,6, 2,3 и 1,2 соответственно, т. е. чем выше расход цемента, тем больше предел прочности при сжатии и тем меньше газопроницаемость и осыпаемость смесей.

Плавку чугуна для получения отливок корпусов сушильных цилиндров и исследуемых отливок проводили в индукционных тигельных печах вместимостью 8 и 25 т фирмы ASEA. Чугун в печи нагревали до 1480 °С, выдерживали в течение 10 мин, снижали температуру до 1420 °С и модифицировали при выпуске из печи ферросилицием ФС-75 в количестве 0,2–0,3 % от массы набираемого в ковш металла. Металл заливали при 1345–1350 °С, время заливки отливки к сушильным цилиндрам составляло 45–55 с, время от начала модифицирования до заливки металла в форму не превышало 17 мин.

Трещины на отливке возникают вследствие повышенного содержания хрома (более 0,8 %), марганца и кремния в жидком металле. Общим для всех легирующих добавок является упрочняющий эффект, обусловленный легированием феррита и получением дисперсных структур металлической матрицы. Улучшает весь комплекс механических свойств серого чугуна никель. Применяли также комплексное легирование, вводя упрочняющие и карбидобразующие компоненты, что оказывало наиболее благоприятное влияние на механические свойства выплавляемого металла.

Полученным чугуном заливали формы из испытываемых смесей. Испытания показали положительные результаты: брака отливок из-за формовочных и стержневых смесей, приготовленных из карельских песков, не было.

Библиографический список

1. **Васин, Ю. П.** Проблемы изучения формовочных материалов за рубежом / Ю. П. Васин // Литейное производство. — 1962. — № 2. — С. 43–45.
2. **Завёрткин, А. С.** О выборе карельских песков для литейного производства. Докембрий и квартер Карелии (минералогия, металлогения и технология использования минерального сырья) / А. С. Завёрткин, А. Д. Лукашов, И. Н. Демидов. — Петрозаводск, 1988. — С. 13–15.
3. **Инсли, Г.** Микроскопия керамики, цементов, стекол, шлаков и формовочных песков / Г. Инсли, В. Д. Фрешетт. — М.: Гостройиздат, 1960. — 370 с.
4. **Комиссаров, В. А.** Направления развития малоотходных технологических процессов производства отливок / В. А. Ко-

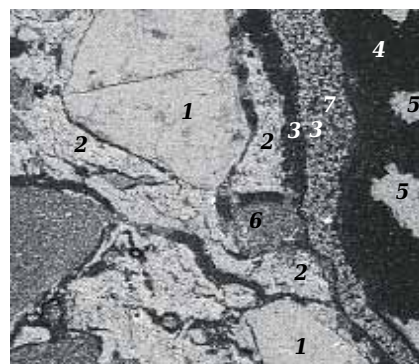


Рис. 2. Контактный слой формы сушильного цилиндра с металлом: 1 — зерно песка; 2 — связка из огнеупорной глины; 3 — остатки от разложения графита в противопригарном покрытии; 4 — продукты химических реакций между расплавленным металлом и покрытием формы; 5 — оставшиеся (не прореагировавшие до конца) частицы песка в продуктах химического взаимодействия металла и покрытия; 6 — зерно песка после воздействия на него закисного железа, проникшего в форму из расплава металла и шлака; 7 — продукты взаимодействия противопригарного покрытия с металлом и шлаком

Для промышленных испытаний использовали две пробы карельских песков — № 27 и 32. По зерновому и химическому составам проба № 32 приближается к показателям, полученным при исследовании импортного песка фирмы «Валмет» для изготовления стержней сушильных цилиндров обрезной шириной 10500 мм и диаметром 1830 мм. Результаты испытания показали, что эти пески можно использовать для получения отливок массой 1500 кг. При этом была получена чистая, без пригара поверхность отливки, дефектов поверхности не было.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали возможность применения карельского песка в качестве формовочного материала, в том числе и для получения сушильных цилиндров в случае проведения предварительной регенерации — удаления излишнего количества глинистой составляющей до 0,5–0,6 мас. %.

Наиболее пригодным для этой цели следует считать песок Сямозерского месторождения (проба № 32). Пески Новинского и Струго-Красненского карьеров ввиду их низкой газопроницаемости малоприспособлены для изготовления форм и стержней при получении отливок корпусов сушильных цилиндров. Для производства подобных отливок необходимы пески зернистостью 0,6–1,0 мм, содержащие не более 0,6 мас. % глинистой составляющей.

миссаров, В. В. Серебряков // Литейное производство. — 1983. — № 5. — С. 2–4.

5. **Распопин, И. М.** Пути обеспечения и рационального использования формовочных материалов / И. М. Распопин // Литейное производство. — 1983. — № 4. — С. 17, 18.

6. Формовочные пески : каталог. — М. : НИИИнформации по машиностроению, 1984. — 27 с.

7. **Архипов, Н. В.** Технология производства отливок корпусов сушильных цилиндров бумагоделательных машин / Н. В. Архипов, Л. М. Никитин. — М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1979. — 26 с. ■

Получено 19.04.13

© А. С. Завёрткин, 2013 г.

Д. т. н. С. Я. Давыдов¹, д. т. н. Н. П. Косарев¹, д. т. н. Н. Г. Валиев¹,
к. т. н. В. Н. Корюков²

¹ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 66.045.13

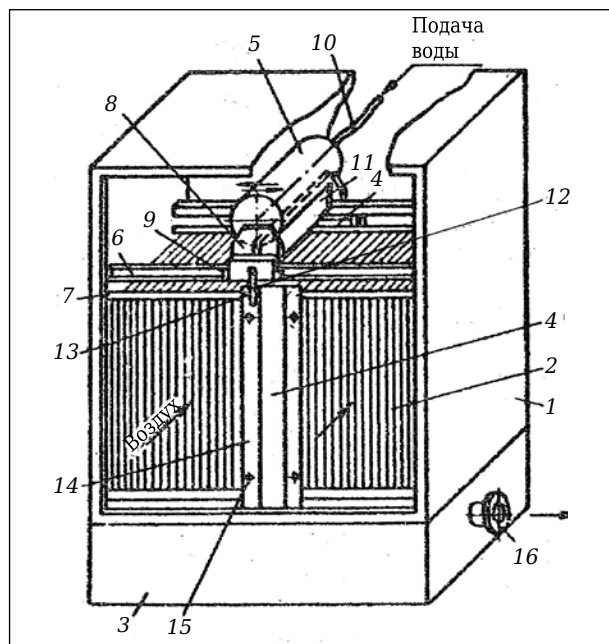
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА

Представлена конструкция и описана работа устройства для тепловлажностной обработки воздуха с примером расчета регенеративного теплообменника. Предложены расчет аэродинамического сопротивления, гидравлический расчет скорости течения воды, размеров форсунки и тепловой расчет.

Ключевые слова: теплообмен, обратная вода, насадка, ороситель, аэродинамическое сопротивление, подвижная шторка.

Устройство для тепловлажностной обработки воздуха относится к регенеративным газожидкостным теплообменным аппаратам, используемым в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, преимущественно для охлаждения оборотной воды при нагреве приточного воздуха.

В корпусе 1 устройства [1, 2] (см. рисунок) смонтированы насадка 2 и поддон 3 в нижней части, подвижные шторки 4, расположенные перед насадкой 2, и установленный над ней ороситель 5. Ороситель 5 и шторки 4 установлены с возможностью перемещения вдоль насадки 2 и кинематически связаны между собой. Шторки 4 выполнены с регулируемой шириной. Устройство снабжено дополнительными шторками 4, установленными за насадкой 2.



Устройство для тепловлажностной обработки воздуха

В корпусе 1 над насадкой 2 смонтированы направляющие 6, 7. В направляющих 6 установлен передвижной ороситель 5, смонтированный на каретке 8 с колесными опорами 9. Ороситель 5 имеет подводящие шланги 10, щелевое сопло 11 и зацепы 12, установленные между зацепами 13 шторок 4. Для регулирования ширины шторки 4 снабжены регулировочными пластинами 14 на пальцах 15. Поддон 3 имеет отводящий патрубок 16.

Устройство для обработки воздуха работает следующим образом. В ороситель 5 через шланги 10 подается нагретая жидкость, например обратная вода. Через щелевое сопло 11 насадка 2 орошается водой, которая стекает в поддон 3. В процессе орошения насадка 2 смачивается и нагревается. Тепло насадки отбирается продуваемым воздухом. Нагретый воздух используется для производственных нужд. Для уменьшения энергозатрат на преодоление аэродинамического сопротивления, создаваемого жидкостью, стекающей по каналам насадки 2, и уменьшения каплеуноса насадка 2 нагревается только в зоне орошения при перемещении над ней оросителя 5. Скорость перемещения форсунки определяется физическими свойствами теплоносителя (воздуха и воды) и материала насадки 2. С целью уменьшения каплеуноса зона полива ограждена от газового потока шторками 4. При движении оросителя 5 зацепы 12 зацепляют за зацепы 13 и перемещают шторки 4. В результате совместного движения оросителя 5 и шторок 4 обеспечивается перекрытие потока воды от воздуха. При движении оросителя 5 зона орошения отстает по фронту. Шторки 4 также перемещаются с отставанием относительно оросителя 5, перекрывая зону орошения. Величина отставания определяется интервалом между зацепами 13.

Настройку устройства можно обеспечить изменением скорости движения оросителя 5 и ширины шторок 4. При возрастании скорости движения

оросителя 5 увеличивается зона орошения насадки 2, что требует большей ширины шторок 4. При уменьшении скорости движения оросителя 5 зона орошения сокращается. В этом случае для снижения энергетических затрат на преодоление аэродинамического сопротивления необходимо уменьшить ширину шторок 4.

Пример расчета регенеративного теплообменника

Исходные данные для расчета:

Расход оборотной воды V_1 , м ³ /ч.....	50
Температура оборотной воды t_1 , °С.....	45
Объемный расход воздуха V_2 , м ³ /ч.....	85000
Размеры блока насадки, м:	
длина l	2,1
ширина B	0,5
высота h	2,0
Ширина зазора (канала) S , м.....	0,003
Число пластин насадки n , шт.....	525
Шаг установки пластин $l_{\text{п}}$, м.....	0,004
Ширина шторки $b_{\text{ш}}$, м.....	0,3–0,5

Расчет аэродинамического сопротивления

Определяем сечение канала, м²:

$$F_k = lS = 2,1 \cdot 0,003 = 0,0063. \quad (1)$$

Смоченный периметр, м:

$$\Pi = 2(S + l) = 2(0,003 + 2,1) = 4,206. \quad (2)$$

Эквивалентный диаметр, м:

$$d_3 = \frac{4F_k}{\Pi} = \frac{4 \cdot 0,0063}{4,206} = 0,006. \quad (3)$$

Полное сечение насадки, м²:

$$F_c = hl = 2 \cdot 2,1 = 4,2. \quad (4)$$

Сечение блока, закрытое шторкой, м²:

$$F_{\text{ш}} = b_{\text{ш}}h = 0,4 \cdot 2 = 0,8. \quad (5)$$

Площадь живого сечения при условии, что пластины занимают 1/4 сечения, м²:

$$F_{\text{ж}} = \frac{3(F_c - F_{\text{ш}})}{4} = \frac{3(4,2 - 0,8)}{4} = 2,55. \quad (6)$$

Скорость прохождения воздуха через насадку, м/с:

$$W = \frac{V_2}{F_{\text{ж}} \cdot 3600} = \frac{85000}{2,55 \cdot 3600} = 9,3. \quad (7)$$

Определяем критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{Wd_3}{\nu} = \frac{9,3 \cdot 0,006}{13,1 \cdot 10^{-6}} = 4259,5, \quad (8)$$

где ν — коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с.

Коэффициент сопротивления трению

$$\zeta_{\text{тр}} = \frac{1}{(1,82 \lg \text{Re} - 1,64)^2} = \frac{1}{(1,82 \lg 4259,5 - 1,64)^2} = 0,041. \quad (9)$$

Потери давления на трение, Па:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \zeta_{\text{тр}} \frac{\rho W^2}{2d_3} = 0,041 \frac{0,5 \cdot 1,29 \cdot 9,3^2}{2 \cdot 0,006} = 188,8 \text{ [3]}, \quad (10)$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³.

Потери давления на местное сопротивление, Па:

$$\Delta P_{\text{м.с}} = (\zeta_1 + \zeta_2) \frac{\rho \bar{W}^2}{2} [4, 5], \quad (11)$$

где ζ_1 — коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении, $\zeta_1 = 0,5$; ζ_2 — коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении, $\zeta_2 = 1$; $\bar{W}$ — средняя скорость воздуха при входе (выходе), м/с,

$$\bar{W} = \frac{W + \frac{V_2}{F_c}}{2} = \frac{9,3 + \frac{85000}{4,2 \cdot 3600}}{2} = 7,46, \quad (12)$$

тогда

$$\Delta P_{\text{м.с}} = (0,5 + 1) \frac{1,29 \cdot 7,46^2}{2} = 53,85 \text{ Па.}$$

Общие потери давления, Па:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м.с}} = 188,8 + 53,85 = 242,65. \quad (13)$$

Гидравлический расчет скорости течения и размеров форсунки

При установившемся течении воды $W_1 = \text{const}$, скоростной напор $\frac{\rho W_1^2}{2}$ равен потерям на трение $\Delta P_{\text{тр}}$:

$$\frac{\rho W_1^2}{2} = \frac{h}{d_3} \zeta_{\text{тр1}} \frac{\rho W_{\text{в}}^2}{2}. \quad (14)$$

Подставив значение $W_1 = \sqrt{2gh}$, имеем

$$W_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2gd_3}{\zeta_{\text{тр1}}}}, \quad (15)$$

$$\text{где } \zeta_{\text{тр1}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} [4].$$

Принимаем $W_1 = 1,5$ м/с, тогда

$$\text{Re}_1 = \frac{W_{\text{в}} d_3}{\nu} = \frac{1,5 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 9000, \quad (16)$$

$$W_{\text{в1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 98 \cdot 0,006}{0,0325}} = 1,9 \text{ м/с.}$$

Выполним уточнение:

$$\text{Re}_2 = \frac{1,9 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 11400,$$

$$\zeta_{\text{тр2}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{11400}} = 0,0306,$$

$$W_B = \sqrt{\frac{2 \cdot 98 \cdot 0,006}{0,0306}} = 1,96 \text{ м/с.}$$

Принимаем $W_B = 1,96 \text{ м/с.}$

Площадь щелевой форсунки F_Φ определяем по формуле

$$F_\Phi = \frac{V_1}{W_B} = \frac{50}{1,96 \cdot 3600} = 0,0071 \text{ м}^2. \quad (17)$$

Длину щели приравниваем к ширине насадки $l_{щ} = B = 0,5 \text{ м.}$

Ширину щели форсунки b_Φ определяем по формуле

$$b_\Phi = \frac{F_\Phi}{l_{щ}} = \frac{0,0071}{0,5} = 0,0142 \text{ м.} \quad (18)$$

С учетом сечения, занятого пластинами насадки,

$$b_\Phi = 0,0142 \cdot \frac{4}{3} = 0,0189 \text{ м.}$$

Принимаем $b_\Phi = 0,02 \text{ м.}$

Тепловой расчет

Площадь поверхностного теплообмена

$$F_T = 2hBn = 2 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 525 = 1050 \text{ м}^2. \quad (19)$$

С учетом перекрытия шторкой

$$F_{T_1} = \frac{2hB(l - b_{ш})}{l_n} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot (2,1 - 0,4)}{0,004} = 850 \text{ м}^2. \quad (20)$$

Теплообмен вода – насадка

Теплоотдачу с учетом турбулентного течения воды при числе $Re = 11400$ и числе Прандтля $Pr = 5,42$ рассчитываем по уравнению

$$Nu = \frac{RePr\psi \frac{\zeta}{8}}{1 + \frac{900}{Re} + 12,7\sqrt{\frac{\zeta}{8}}(Pr^{2/3} - 1)}, \quad (21)$$

где ψ — коэффициент влияния свойств жидкости, $\psi = 1$.

$$Nu = \frac{11400 \cdot 5,42 \cdot \frac{0,0306}{8}}{1 + \frac{900}{11400} + 12,7\sqrt{\frac{0,0306}{8}}(5,42^{2/3} - 1)} = 86,9.$$

Определяем коэффициент теплоотдачи, $Вт/(м^2 \cdot К):$

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{d_s}, \quad (22)$$

где λ — теплопроводность, $Вт/(м \cdot К),$

$$\alpha = \frac{86,9 \cdot 2,72 \cdot 10^{-2}}{6 \cdot 10^{-3}} = 394 \text{ Вт/(м}^2 \cdot К).$$

Определяем поправочный коэффициент

$$\varepsilon = 0,86 + 0,90\left(\frac{d_s}{h}\right)^{0,4} = 0,86 + 0,90\left(\frac{0,006}{2}\right)^{0,4} = 0,95, \quad (23)$$

$$\alpha_1 = \alpha\varepsilon = 394 \cdot 0,95 = 374 \text{ Вт/(м}^2 \cdot К). \quad (24)$$

Теплообмен насадка – воздух

Задаем переданное тепло $Q = 1 \text{ ккал/ч.}$ Определяем перепад температур по воде

$$\Delta t = Q/(V_1 c) = 10^9/(50 \cdot 10^6) = 20 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (25)$$

Температура оборотной воды на выходе из теплообменника

$$t_2 = t_1 - \Delta t = 45 - 20 = 25 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (26)$$

Принимаем, что сплошная пленка на пластинах не высыхает. Задаемся конечной температурой насадки после нагрева $t_n = 23 \text{ }^\circ\text{C.}$ Определяем температуру пленки до начала испарения:

$$t_u = (t_n + t_2)/2 = (23 + 25)/2 = 24 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (27)$$

Пользуясь $i-d$ диаграммой влажного воздуха, определяем условный коэффициент теплоотдачи пластин, покрытых пленкой:

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_c(i_u - i_m)}{C_p(t_u - t_m)} \quad (28)$$

где α_c — коэффициент теплоотдачи сухой поверхности, $Вт/(м^2 \cdot К); i_u$ — энтальпия воздуха при температуре пленки воды, $кДж/кг; i_m$ — средняя энтальпия воздуха (среднелогарифмическая), $кДж/кг; C_p$ — теплоемкость воздуха, $Дж/(кг \cdot К); t_m$ — средняя температура воздуха, $^\circ\text{C.}$

Определяем коэффициент теплоотдачи α_c сухой поверхности по формуле (21):

$$Nu = \frac{\frac{0,041}{8} 4241 \cdot 0,707 \cdot 1}{1 + \frac{900}{4241} + 12,7\sqrt{\frac{0,041}{8}}(0,707^{2/3} - 1)} = 15,07.$$

Из соотношения

$$Nu = (\alpha_c d_s)/\lambda \quad (29)$$

находим

$$\alpha_c = (15,07 \cdot 0,025)/0,006 = 62,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot К).$$

После определения поправочного коэффициента по формуле (23)

$$\varepsilon = 0,86 + 0,90(0,006/2,1)^{0,4} = 0,946$$

имеем $\alpha_c = 62,8 \cdot 0,946 = 59,43 \text{ Вт/(м}^2 \cdot К).$

При энтальпии входящего воздуха $i'_2 = -10 \text{ кДж/кг}$ и

$$\Delta i_2 = Q/V_2 = 1164/30,5 = 38,16 \text{ кДж/кг} \quad (30)$$

получим

$$i_2' = \Delta i_2 + i_2'' = 38,16 + (-10) = 28,16 \text{ кДж/кг}, \quad (31)$$

а $t_2'' \approx 9^\circ\text{C}$.

При $i_u \approx 70 \text{ кДж/кг}$ из формулы

$$i_u - i_m = \frac{\Delta i_2}{\ln \frac{i_n - i_2''}{i_n - i_2'}} = \frac{38,16}{\ln \frac{70 - (-10)}{70 - 28,16}} 58,9 \approx 59 \quad (32)$$

находим

$$i_m = i_u - \Delta i = 70 - 59 = 11 \text{ кДж/кг}. \quad (33)$$

Из $i-d$ диаграммы $t_m \approx 1^\circ\text{C}$.

Коэффициент теплообмена

$$\alpha_2 = \frac{59,4 \cdot 59}{1(24 - 1)} = 152,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}.$$

Период нагрева насадки

Температура насадки перед орошением водой при $\Delta t_n = 10^\circ\text{C}$:

$$t_n' = t_n'' - \Delta t_n = 23 - 10 = 13^\circ\text{C}; \quad (34)$$

при средней температуре воды

$$t_{ж} = (t_1 + t_3)/2 = (45 + 25)/2 = 32^\circ\text{C} \quad (35)$$

безразмерная температура для средней пластины

$$\Theta_y = \frac{t - t_0}{t_{ж} - t_0} = \frac{t_n'' - t_n'}{t_{ж} - t_n'} = \frac{23 - 13}{35 - 13} = 0,45. \quad (36)$$

Температуропроводность

$$a = \frac{\lambda_c}{\rho C_p}, \quad (37)$$

где λ_c — теплопроводности стали, Вт/(м·К); ρ — плотность стали, кг/м³; C_p — теплоемкость, Дж/(кг·К).

$$a = \frac{50}{1800 \cdot 0,11 \cdot 4,19 \cdot 10^3} = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Определяем числа Фурье и Био:

число Фурье

$$Fo = \frac{a \tau_1}{\delta^2}, \quad (38)$$

где τ_1 — период нагрева насадки, с; δ — половина толщины пластины, м.

$$Fo = \frac{1,39 \cdot 10^{-5}}{(5 \cdot 10^{-4})^2} \tau_1 = 55,6 \tau_1;$$

число Био

$$Bi = \frac{\alpha_1 \delta}{\lambda} = \frac{373,6 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{50} \approx 0,004. \quad (39)$$

По графику [6] определяем Fo (Θ ; Bi) ≈ 150 . Отсюда $\tau_1 = Fo/55,6 = 150/55,6 = 2,7 \text{ с}$.

Период охлаждения насадки

Для периода охлаждения пластин насадки

$$\Theta_u = \frac{t - t_0}{t_{ж} - t_0} = \frac{t_n'' - t_n'}{t_n'' - \bar{t}_2}, \quad (40)$$

$$\text{где } \bar{t}_2 = \frac{t_2' - t_2''}{2} = \frac{(-14) + 9}{2} = -2,5^\circ\text{C}.$$

$$\text{Отсюда } \Theta_u = \frac{23 - 13}{23 - (-2,5)} = 0,39.$$

При числе Фурье $Fo = 55,6 \tau_2$

$$Bi = \frac{\alpha_1 \delta}{\lambda} = \frac{152,1 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{50} = 0,0015.$$

По графику [7] определяем Fo (Θ ; Bi) ≈ 350 , тогда период охлаждения насадки $\tau_2 = 350/55,6 = 6,3 \text{ с}$.

Коэффициент теплопередачи

$$K_n = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \tau_1} + \frac{1}{\alpha_2 \tau_2}} \cdot \left(1 - \frac{\bar{t}_{1н} - \bar{t}_{2н}}{\bar{t}_1 - \bar{t}_2}\right), \quad (41)$$

где $\bar{t}_{1н}$, $\bar{t}_{2н}$ — средняя температура насадки в процессе нагрева и охлаждения соответственно.

Если задаться равными интервалами ΔFo , то с достаточной степенью точности можно определить безразмерную температуру по графику [6] и по формуле

$$\bar{\Theta} = \frac{\sum_{n=1}^n \Theta_n}{n}. \quad (42)$$

При $\Delta Fo = 30$, $n = 5$ и $Bi = 0,004$ для процесса нагрева

$$\bar{\Theta}_{1н} = \frac{0,12 + 0,22 + 0,3 + 0,38 + 0,45}{5} = 0,32.$$

Из

$$\bar{\Theta}_{1н} = \frac{t_{1н} - t_n'}{t_{ж} - t_n'} \quad (43)$$

имеем $\bar{t}_{1н} = \bar{\Theta}_{1н}(t_{ж} - t_n') + t_n' = 0,32 \cdot 22 + 13 = 20,04^\circ\text{C}$.

При $\Delta Fo = 40$, $n = 5$ и $Bi = 0,0015$ для процесса охлаждения

$$\bar{\Theta}_{н2} = \frac{0,10 + 0,19 + 0,27 + 0,33 + 0,39}{5} = 0,256.$$

Средняя температура насадки в процессе охлаждения

$$\bar{t}_{2н} = t_n'' - \bar{\Theta}_{н2}(t_n'' - t_{ж}) = 23 - 0,256 \cdot 25,5 = 16,5^\circ\text{C}. \quad (44)$$

После подстановки найденных значений в формулу (41) имеем

$$K_n = \frac{1}{\frac{1}{373,6 \cdot 2,7} + \frac{1}{152,1 \cdot 6,3}} \cdot \left(1 - \frac{20 - 16,5}{35 - (-2,5)}\right) = 446 \text{ Дж/(м}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{период)}.$$

Количество утилизированного тепла

$$Q_y = K_n (\bar{t}_1 - \bar{t}_2) \frac{F_{\tau_1}}{\tau_1 + \tau_2}, \quad (45)$$

$$Q_y = 446 \cdot (35 + 2,5) \frac{850}{9} = 1,58 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 1,58 \text{ МВт.}$$

Для уточнения периода утилизации τ_y воспользуемся соотношением

$$\frac{\tau_y}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{Q_y}{Q}, \quad (46)$$

тогда

$$\tau_y = \frac{1,58}{1,16} (2,7 + 6,3) = 12,3 \text{ с.}$$

При периоде утилизации $\tau_y = 12,3$ с имеем $Q = 1,0$ Гкал/ч. Количество тепла, расходуемого на нагрев воздуха,

$$Q_n = C_p V_2 \Delta t, \quad (47)$$

$$Q_n = 1 \cdot 85 \cdot 10^3 \cdot 23 \cdot \frac{1,29}{3600 \cdot 10^3} = 0,7 \text{ МВт} = 0,602 \text{ Гкал/ч.}$$

Количество тепла, расходуемого на увлажнение воздуха,

$$Q_v = Q - Q_n = 1,0 - 0,602 = 0,398 \text{ Гкал/ч.}$$

Влагоунос в единицу времени [7]

$$W_{\text{исп}} = 0,211 \cdot (a_u + 0,0174 U) F_{\tau_1} \frac{\Delta P_v}{P_6} =$$

$$= 0,211(0,022 + 0,0174 \cdot 9,3) \cdot 850 \cdot \frac{1,729}{101} = 0,56 \text{ кг/с,} \quad (48)$$

где ΔP_v — перепад давления, кПа; P_6 — барометрическое давление, кПа.

Масса пленки при ее толщине $\delta_n = 0,0001$ м:

$$M_n = \delta_n F_{\tau_1} \rho_v = 0,0001 \cdot 850 \cdot 1000 = 85 \text{ кг.} \quad (49)$$

За период $\tau_y = 12,3$ с влагоунос составит

$$W_{\tau} = W_{\text{исп}} \tau_y = 0,56 \cdot 12,3 = 6,9 \text{ кг,} \quad (50)$$

т. е. при толщине пленки 0,1 мм пластины будут оставаться влажными в течение всего периода охлаждения.

Скорость передвижения щелевой форсунки

$$v = 1/\tau_y = 2,1/12,3 = 0,17 \text{ м/с.} \quad (51)$$

Ширина шторки

$$b_{\text{ш}} = \frac{h}{U_v} v + b_{\text{ф}} = \frac{2}{1,96} 0,17 + 0,02 = 0,19 \text{ м.} \quad (52)$$

Итоговые данные:

Утилизируемое тепло, Гкал/ч	1,0
В том числе:	
на нагрев воздуха	0,602
на увлажнение воздуха	0,398
Температура сливаемой оборотной воды, °С	25
Температура нагрева воздуха, °С	9
Скорость перемещения щелевой форсунки, м/с	0,17
Аэродинамическое сопротивление насадки, Па	242,6
Ширина щели форсунки, м	0,02
Ширина шторки, м	0,19

В работе предложена новая конструкция аппарата для тепловлажностной обработки воздуха с целью регенерации тепла оборотной воды при нагреве приточного воздуха. Эта конструкция может использоваться в различных системах отопления и вентиляции. Предложенная методика расчета позволит рассчитать такой аппарат для любых конкретных условий.

Библиографический список

1. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
2. **А. с. 1413378 SU.** Устройство для тепловлажностной обработки воздуха / С. И. Чуваев, Ю. В. Агеев, С. Я. Давыдов, А. С. Петров, П. С. Бызов. — № 4201071 ; заявл. 26.02.87 ; опубл. 30.07.88, Бюл. № 28.
3. **Юрьев, В. Н.** Теплотехнический справочник / В. Н. Юрьев, П. Д. Лебедев. — М. : Энергия, 1976. — 896 с.
4. **Крутов, В. И.** Техническая термодинамика / В. И. Крутов. — М. : Высшая школа, 1971. — 472 с.
5. **Лыков, А. В.** Теория теплопроводности / А. В. Лыков. — М. : Высшая школа, 1967. — 204 с.
6. **Григорьев, В. А.** Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / В. А. Григорьев. — М. : Энергоиздат, 1983. — 378 с.
7. **Даракчиев, Р. Д.** Предотвращение растекания жидкости к стенке колонных аппаратов с насадкой / Р. Д. Даракчиев, Н. Н. Колев // Химическое нефтемашиностроение. — 1986. — № 8. — С. 13–14. ■

Получено 01.04.13

© С. Я. Давыдов, Н. П. Косарев,
Н. Г. Валиев, В. Н. Корюков, 2013 г.



Д. А. Тимошенко, Е. Е. Коломыцев

ЗАО «Производственно-коммерческая фирма «НК-Теплохиммонтаж»,
г. Старый Оскол Белгородской обл., Россия

УДК 666.762.1:669.046.412

СУШКА ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ*

Изложены основные принципы проведения сушки, а также зависимость ее способов и режимов от конкретных технических и эксплуатационных характеристик теплотехнических установок. Указана необходимость проведения сушки футеровки тепловых агрегатов как при капитальном строительстве, так и при проведении ремонтов. Приведен пример сушки футеровки тепловых агрегатов, проведенной специалистами ЗАО «ПКФ «НК-Теплохиммонтаж».

Ключевые слова: сушка, футеровка, огнеупорные бетоны, испарение влаги, энергия СВЧ, инфракрасная тепловая энергия, дымовые газы, температура, график, термопара, газопровод, горелочное устройство, факел.

Компания «НК-Теплохиммонтаж» занимается строительством и ремонтом тепловых агрегатов различного назначения, а также производством огнеупорных и теплоизоляционных изделий и материалов широкого спектра свойств и областей применения. Одним из направлений деятельности предприятия, впервые обозначенном в 2007 г. на Лебединском ГОКе (г. Губкин Белгородской обл.), является сушка футеровки тепловых агрегатов. Выполнение сушки в последние годы становится неотъемлемой частью процедуры вывода теплоагрегатов на требуемый температурный режим после капитального строительства или ремонта. И это не случайно, ведь от правильного и технически грамотного проведения сушки в значительной мере зависит стойкость футеровочного покрытия. К сожалению, многие эксплуатационники недооценивают этот важный этап подготовительной работы.

Любая неволокнистая футеровка тепловых агрегатов содержит воду, попадающую в нее при изготовлении материалов или во время их хранения и монтажа. К примеру, влажность набивных огнеупорных масс 5–9 %, традиционные плотные огнеупорные бетоны (с содержанием 25–30 % цемента) при монтаже имеют влажность 10–12 %, а низкоцементные бетоны — 5–7 %. Кирпичная кладка содержит достаточно большое количество воды, вносимой с раствором, на котором она ведется, а также поглощаемой кирпичом, имеющим поры, из атмосферы. Учитывая это, несложно представить, какое количество воды содержится в футеровке массой в несколько сот тонн.

Как известно, сушка — это удаление свободной (физической) и химически связанной влаги из огнеупорного материала. Процесс должен быть достаточно медленным, чтобы обеспечить постепенное удаление воды без риска образования трещин и разрушения футеровки. Установление оптимальной программы сушки и нагрева становится особой задачей, которая должна решаться в сотрудничестве с производителем используемых футеровочных материалов. Время сушки и первого прогрева футеровки, как и скорость повышения температуры, зависит от ряда факторов: материала (тип футеровочных материалов и их свойства, содержание воды), конструкции (форма и состав футеровки, ее объем и толщина,

плотность металлической конструкции агрегата), теплотехнических особенностей (система отопления, подачи газа и т. д.). Для достижения положительных результатов все эти факторы должны быть учтены при составлении программы прогрева.

Первоначально рекомендуется проводить естественную сушку теплового агрегата при открытых люках и лазах для лучшей вентиляции. После этого проводят принудительную сушку воздухом, подаваемым вентилятором. Сушка воздухом обычно занимает 48 ч. Одновременно с холодной сушкой проверяется работа вентилятора и замеряется гидравлический режим по всем воздушным трактам.

После окончания сушки холодным воздухом начинается сушка нагретыми дымовыми газами от сжигания топлива, в качестве которого можно использовать природный газ. Печи с мощными сожигательными устройствами сушат временными горелками на природном газе. В качестве топлива могут быть использованы мазут, дизельное топливо, уголь и даже дрова. Однако в последнее время применение этих источников тепла практически не встречается на практике.

Сушку футеровки печей с электрическими нагревательными элементами выполняют при помощи этих нагревателей с учетом тех же рекомендаций, что и при сушке природным газом. Для сушки футеровки тепловых агрегатов небольшого объема и с небольшой толщиной футеровочного слоя могут быть использованы электрокалориферы.

В настоящее время разработаны новые методы и способы проведения сушки футеровки. Все большее распространение получает способ удаления влаги при помощи микроволновой энергии (энергии СВЧ), с успехом применяемый в странах Западной Европы и в Японии.

Еще одна перспективная технология в этой области — комбинированное использование энергии СВЧ и инфракрасной тепловой энергии, так называемый микроволново-инфракрасный метод. Энергия СВЧ направляется на быстрый, объемный нагрев, позволяющий выводить влагу на поверхность, откуда ее удаляют с помощью инфракрасных излучателей и теплого воздуха. В этом случае микроволновая энергия используется только для перемещения влаги на поверхность, а далее инфракрасная энергия испаряет поверхностную влагу.

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва).

Широкому применению этих методов сушки препятствует высокая стоимость необходимого оборудования.

Главным принципом процессов сушки и прогрева новой футеровки является тщательный надзор в течение начальной фазы. Необходимо, чтобы пламя нигде не касалось футеровки. Следует также проводить постоянный контроль температуры в течение всего процесса. Мониторинг режима сушки осуществляется с помощью термодатчиков, устанавливаемых на расстоянии не более 5 см от поверхности нагрева: в наиболее горячей зоне сооружения (свод, перевальная стенка и т. д.); в местах возможного перегрева (над горелками или против них); в местах наименьшего прогрева бетона при сушке, если при переходе на нормальный режим на этих участках может произойти резкое повышение температуры. При большой протяженности тепловых агрегатов (туннельные печи, боровы и др.) термодатчики устанавливают не реже чем через 10 м.

Весь процесс повышения температуры должен быть тщательно управляем, так как слишком быстрый или неравномерный прогрев может привести к серьезным дефектам и повреждениям футеровки. Источники тепла должны быть установлены таким образом, чтобы не получалось в рабочем пространстве теплового агрегата зон с недопустимо низкой или недопустимо высокой температурой. Одновременно с этим необходимо организовать достаточную вентиляцию, обеспечивающую полноценный отвод испаряемой влаги. При наличии в тепловом агрегате слоя теплоизоляции и наружного металлического кожуха необходимо для удаления паров воды, образовавшихся в процессе нагрева, открыть существующие в кожухе отверстия (люки, смотровые окна и т. п.), а при необходимости предусмотреть специальные отверстия для выхода паров воды.

Для облегчения мониторинга процесса высыхания огнеупорного материала и его прогрева, обеспечения необходимой равномерности прогрева футеровки нужно устанавливать на поверхности футеровки несколько вспомогательных термодатчиков в местах, в которых можно ожидать наименьшие температуры. Если термодатчики невозможно установить, то необходимо измерять температуру футеровки другим способом, например инфракрасным пирометром.

Скорость повышения температуры в начальной фазе процесса ограничена низкой пористостью огнеупорных материалов, которая препятствует отводу водяного пара. Поэтому процесс прогрева должен предусматривать достаточно длительный период выпаривания и удаления свободной воды при температуре на прогреваемой стороне футеровки 120–150 °С. Ускоренный начальный прогрев футеровки, например, из бетонов с плотной структурой приведет к чрезмерному нарастанию внутреннего давления возникающего пара. При превышении величины давления показателя прочности материала происходит взрывное разрушение и отслаивание бетона. Даже если не возникнет взрывных разрушений, то появившиеся внутренние трещины значительно снизят прочность и стабильность футеровки и могут стать причиной сокращения срока ее службы. Поэтому только после окончания фазы сушки можно приступать к дальнейшему повышению температуры, скорость прогрева, однако, должна зависеть от поведения футеровки (разложение гидратов, температурные расширения и т. п.).

Небольшие тепловые агрегаты, футерованные летом, сушат и разогревают со скоростью 50, 35 и 25 °С/ч при объеме футеровки 20, 20–50 и 50–100 м³ соответственно. Крупные печи после строительства сушат и разогревают со скоростью 5–10 °С/ч, а после замены футеровки при холодном ремонте 15–25 °С/ч. Продолжительность сушки следует увеличивать на величину до 30 %, если укладка огнеупоров выполнена зимой или при сырой погоде или если большая толщина кладки; и, наоборот, несколько уменьшать, если укладка выполнялась летом при благоприятных для строительства условиях или если стены печи очень тонкие. Разумеется, каждый случай введения в эксплуатацию новой футеровки может иметь свои особенности и требовать особого подхода. Нельзя установить универсальный график сушки и прогрева.

Компания «НК-Теплохиммонтаж» имеет опыт проведения сушки футеровки теплотехнических агрегатов в разных отраслях промышленности. Среди наиболее крупных можно выделить следующие работы:

- в металлургической отрасли — сушка реформера, шахтной печи и дымоходов завода ГБЖ-2 ОАО «Лебединский ГОК» (г. Губкин Белгородской обл.);
- в химической отрасли — сушка установок первичного, вторичного риформинга и пароперегревателя комплекса по производству метанола ОАО «Щекиноазот» (г. Щекино Тульской обл.);
- в цементной отрасли — сушка футеровки холодильника клинкера Цементного завода в г. Липецке; сушка футеровки холодильника клинкера, циклонов теплообменника, декарбонизатора, газохода третичного воздуха и головки печи обжига цемента в ООО «Цемент» (г. Сланцы Ленинградской обл.), ОАО «Верхнебаканский цементный завод» (г. Новороссийск), ЗАО «Евроцемент групп. Подгоренский цементный завод» (пгт. Подгоренский Воронежской обл.).

Часто сушку вновь выполненной футеровки или после ремонта совмещают с первым разогревом установки, используя при этом штатное горелочное и тягодутьевое оборудование, а также средства КИПиА. При этом проведение сушки не вызывает особых проблем. Однако нередко случаи, когда необходимо провести процесс сушки футеровки агрегатов, штатное оборудование которых в силу своей большой номинальной мощности и места установки не способно обеспечить необходимый температурный режим и равномерный разогрев. В частности, подобная проблема возникает на цементных заводах. Выполнение работ на таких объектах, связанное с решением многих технических задач, наиболее сложно и представляет особый интерес. Целесообразно подробнее остановиться на конкретных примерах.

В декабре 2012 г. специалисты компании «НК-Теплохиммонтаж» выполняли работы по сушке футеровки холодильника клинкера, циклонов теплообменника, декарбонизатора, газохода третичного воздуха и головки печи обжига цемента. При этом сама вращающаяся печь обжига сушке не подвергалась. Указанные установки связаны технологически в одну линию, соединены множеством футерованных трубопроводов разного диаметра и представляют собой сложную аэродинамическую систему.

На момент проведения работ горелочное, тягодутьевое и контрольно-измерительное оборудование установок не было в работоспособном состоянии. Предстояло решение непростой задачи: обеспечить одновременное во всех элементах комплекса соблюдение температурного графика сушки, при этом направить газовые потоки в нужном направлении и не повредить нефутерованные части, технологически связанные с установкой. Необходимым условием было проведение работ в один этап. Работа затруднялась значительным территориальным и высотным разбросом местоположения объектов сушки.

В тепловых агрегатах установки футеровка комбинированная, с преобладанием огнеупорных и теплоизоляционных бетонов. Общая масса материалов, из которых необходимо было удалить влагу, 2400 т. В результате работа была построена следующим образом.

Для того чтобы отсечь вращающуюся печь от области сушки, в ее начале и конце были спроектированы и установлены две защитные перегородки (рис. 1). Также защитные перегородки были смонтированы в холодильнике клинкера. Одна перегородка закрывала выход на дробилку клинкера, а другая — вход в трубопровод газоочистки. Ригели холодильника были укрыты слоем клинкера толщиной 300–400 мм, что предотвратило перегрев приводного гидравлического оборудования и минимизировало подсосы холодного воздуха во время сушки. Для устранения подсосов, кроме того, во всем протяжении установки были закрыты технологические отверстия и проемы, уплотнены монтажные щели.

В каждом из шести циклонов теплообменника, в декарбонизаторе, в приемной камере и головке вращающейся печи, в холодильнике клинкера были установлены временные блочные газовые горелки, оснащенные вентилем воздуха горения, устройством розжига и контролем пламени и системой автоматики безопасности (рис. 2).

Для каждой горелки был изготовлен и смонтирован индивидуальный горелочный блок для ее установки (рис. 3). Всего было поставлено 13 горелочных устройств общей тепловой мощностью 9,7 МВт.

Для работы горелок были спроектированы и проложены временные сети электро- и газоснабжения. В контрольных точках замера температур в футеровку было внедрено 14 хромель-алюмелевых термопар с выводом показаний на ЖК-дисплей приборов визуализации.

Для удаления водяных паров и продуктов сгорания природного газа в верхней части этажерки циклонов теплообменника (отм. +85,228 м) были изготовлены два временных дымохода сечением 500×600 мм, снабженных регулировочными шиберами гильотинного типа. Удаление продуктов сгорания и сушки происходило под действием естественной тяги, регулируемой в ходе проведения работ.

В соответствии с графиком процесса (рис. 4) скорость подъема температуры на каждом этапе не должна была превышать 10 °С/ч. Необходимо было обеспечить 3 изотермические выдержки — при 110, 160 и 400 °С. После достижения 110 и 160 °С выдержка составляла 24 ч, после прогрева до 400 °С 12 ч. Контролируемое охлаждение футеровки после окончания сушки не должно быть быстрее 50 °С/ч.

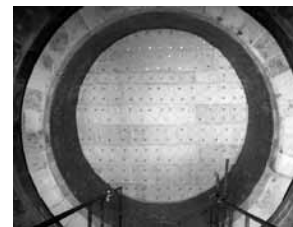


Рис. 1. Перегородка вращающейся печи

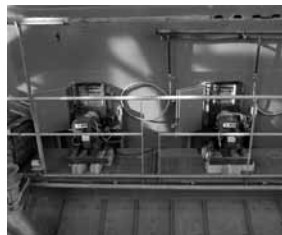


Рис. 2. Установка временных горелочных устройств



Рис. 3. Монтаж горелочных блоков

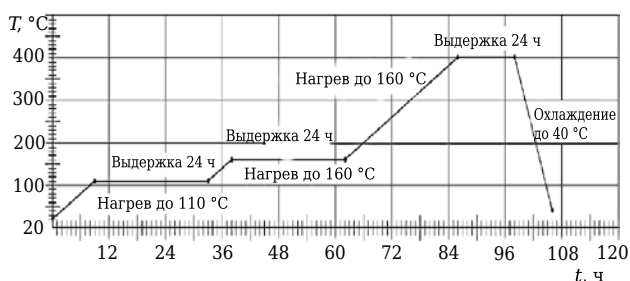


Рис. 4. График сушки; при нагреве скорость подъема температуры не более 10 °С/ч, при охлаждении скорость снижения температуры не более 50 °С/ч

В результате весь процесс сушки и медленного охлаждения футеровки составил 6 сут. В процессе его проведения контролировали и ежечасно фиксировали в журнале показания всех 14 установленных термопар. Помимо этого, операторы с помощью оптического пирометра следили за температурой в местах вероятных «провалов» и «скачков», связанных с особенностями конструкции и аэродинамики агрегатов.

По окончании проведения работ совместной комиссией заказчика и подрядчика был произведен осмотр футеровки после сушки. Дефектов, локальных перегревов и нарушений целостности обнаружено не было. ■

Получено 22.03.13

© Д. А. Тимошенко, Е. Е. Коломыцев, 2013 г.



Д. Т. Н. И. Д. Кашеев, К. Т. Н. М. А. Михеенков, К. Г. Земляной

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.945.2

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ КЛИНКЕРОВ В ПРИСУТСТВИИ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ФАЗ*

Производство огнеупорных цементов спеканием затруднено вследствие узкого температурного интервала спекания и высокой температуры синтеза. Для расширения температурного интервала спекания и снижения температуры обжига предложено формировать в клинкерах высокоглиноземистых цементов промежуточную метастабильную фазу. Представлены результаты синтеза клинкеров высокоглиноземистых цементов с формированием в клинкерах промежуточных метастабильных сульфатированных фаз.

Ключевые слова: высокоглиноземистые цементы, метастабильные фазы, сульфатоалюминат кальция.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей повышения реакционной способности компонентов сырьевой смеси при производстве клинкера огнеупорных цементов является их гомогенизация путем совместного помола. В ряде работ В. В. Болдырева [1, 2] указывается, что механохимическая активация твердых кристаллических материалов повышает их реакционную способность, обеспечивая снижение температуры протекания твердофазных реакций. Повышение реакционной способности твердых материалов связано с увеличением количества и типа дефектов в их кристаллической решетке [3, 4], аккумулирующих энергию и приводящих к изменению свободной энергии Гиббса.

В нашей работе [5] установлено, что плавленный электрокорунд, молотый различными способами, показывает большую степень аморфизации и обладает более дефектной поверхностью (вплоть до выхода атомов основного оксида из собственной структурной решетки), чем необработанный электрокорунд. Большая степень аморфизации плавленного электрокорунда приводит к изменению керамических свойств материала. Материал начинает спекаться при более низких температурах.

Сырьевая смесь для получения клинкера огнеупорных цементов — многокомпонентная система, поэтому помимо повышения реакционной способности каждого компонента необходимо облегчить протекание твердофазных диффузионных процессов между ними. Синтез клинкера огнеупорных цементов протекает в условиях твердофазного спекания без участия жидкой фазы, лимитируется процессами

диффузии и лишь на завершающей стадии синтеза присутствует жидкая фаза [6].

Облегчить протекание твердофазных диффузионных процессов в сырьевой смеси можно путем прессования при усилиях, превышающих прочность кристаллов или кристаллогидратов сырьевой смеси. В работах [7, 8] показано, что прессование сырьевой смеси приводит к снижению температуры начала синтеза клинкеров. Способ получения цементов с использованием прессования сырьевой смеси защищен патентом [9].

За счет формирования в клинкере промежуточных метастабильных фаз можно повысить его прочность, увеличить интервал спекания и реакционную способность компонентов клинкера. Влияние метастабильных фаз на синтез клинкеров высокоглиноземистых цементов мало изучено и практически не используется в практике производства цементов. Между тем при появлении жидкой фазы во время синтеза клинкера в условиях протекания фазовых переходов 1-го рода многие фазы цементного клинкера, образованные в условиях твердофазного синтеза, становятся метастабильными по отношению к фазам, зарождающимся в жидкой фазе. Образующиеся в расплаве более стабильные фазы по составу могут отличаться от распадающихся метастабильных, вследствие чего в пограничных условиях фазового перехода возможно образование избыточного количества свободной извести или ее дефицита.

Избыточное количество свободной извести образуется, когда распадающаяся метастабильная фаза является высокоосновной фазой, а образующаяся стабильная фаза — низкоосновной. Дефицит извести образуется, когда распадающаяся метастабильная фаза низкоосновная, а вновь образующаяся стабильная фаза высокоосновная. В настоящей работе

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва).

изучен синтез высокоглиноземистых цементов путем формирования в клинкере метастабильной фазы сульфалоумината кальция.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении работы исследован синтез клинкеров огнеупорных цементов через формирование в них промежуточной метастабильной фазы. Основными клинкеробразующими минералами огнеупорных цементов являются моно- и диалюминат кальция. Промежуточной метастабильной фазой является сульфалоуминат кальция.

Сульфалоуминат кальция $C_4A_3\bar{S}$ детально изучен и описан Т. В. Кузнецовой [6]. Сульфалоуминат кальция формируется в интервале 1000–1300 °С из оксидов кальция, алюминия и сульфата кальция. В присутствии незначительного количества жидкой фазы может существовать до температуры 1350 °С, выше которой разлагается на C_3A , CaO , O_2 и SO_2 [10]. При совместном нагревании алита C_3S и сульфалоумината кальция $C_4A_3\bar{S}$ [11] с появлением жидкой фазы при температуре выше 1350 °С они распадаются на C_3A и C_2S .

Причины распада сульфалоумината кальция в литературных источниках не указываются. Вероятнее всего, метастабильность данной фазы связана с разложением входящего в ее состав гипса при образовании жидкой фазы. При низких температурах в твердой фазе гипс разлагается в восстановительной, а в присутствии жидкой фазы и в окислительной атмосфере.

После разложения гипса $C_4A_3\bar{S}$ в твердой фазе распадается на три молекулы моноалюмината кальция 3 (CA) и свободную известь, которые затем преобразуются в более устойчивые минералы. В зависимости от степени разложения гипса и количества свободной извести моноалюминат кальция CA образует C_3A или CA_2 . Для повышения огнеупорных свойств высокоглиноземистых цементов целесообразно максимально формировать в клинкере CA и CA_2 .

Обжигу подвергались сырьевые смеси, рассчитанные на получение в клинкере CA и CA_2 или их смеси. Для приготовления клинкеров использовали микрокальцит, гидроксид алюминия и природный гипс, химический состав которых приведен в табл. 1.

При приготовлении сырьевой смеси компоненты шихты гомогенизировали путем совместного помола в шаровой мельнице в течение 30 мин при соотношении шары : материал = 3 : 1 и затем прессовали под

давлением 50 МПа. Сформованные брикеты обжигали при 1100–1400 °С. Полученный клинкер измельчали до остатка на сетке 008 не более 5 %.

Качественный фазовый состав клинкеров определяли методом рентгенофазового анализа (РФА) на аппарате ДРОН-1, количественный фазовый состав — на дифрактометре STADI-P (STORE, Germany), химический состав — по ГОСТ 5382.

Расчет состава сырьевой смеси для синтеза высокоглиноземистого клинкера осуществляли в два этапа. На первом этапе рассчитывали состав сырьевой смеси на синтез в клинкере метастабильной фазы сульфалоумината кальция. Расчетный состав смеси, мас. %: микрокальцит 31,9, гидроксид алюминия 49,1, гипс 19,0. Химический состав клинкера с метастабильной фазой, мас. %: CaO 37,1, SiO_2 0,3, Al_2O_3 49,4, Fe_2O_3 0,1, SO_3 13,1.

На втором этапе расчета принимали, что при появлении жидкой фазы метастабильная фаза — сульфалоуминат кальция распадается, SiO_2 от разложения гипса полностью удаляется в газовую фазу. При этом формируется клинкер, который считается одним из компонентов сырьевой смеси. Для обеспечения синтеза в клинкере CA и CA_2 рассчитывали состав двухкомпонентной смеси на основе сформировавшегося клинкера и гидроксида алюминия. Расчетные составы сырьевых смесей и химический состав клинкеров приведены в табл. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты РФА продуктов обжига клинкера, рассчитанного на получение в нем через метастабильные фазы моноалюмината CA и диалюмината CA_2 кальция, представлены на рис. 1. Сульфалоуминатная фаза в составе клинкера CA сохраняется в изученном интервале температур (см. рис. 1, а) в то время как CA_2 в клинкере — только до 1400 °С (см. рис. 1, б). Линия CaO на рентгенограмме клинкера CA отсутствует, при синтезе CA_2 сохраняется до 1300 °С (см. рис. 1, б). Таким образом, присутствие в шихте CaO определяется не только температурой обжига, но и соотношением $CaO : Al_2O_3$ в шихте (табл. 3).

На рис. 2 представлено изменение интенсивностей дифракционных максимумов основных фаз клинкера в зависимости от температуры обжига. При обжиге до 1300 °С происходит интенсивный рост сульфалоуминатной фазы $C_4A_3\bar{S}$ (см. рис. 2, а). При более высокой температуре ее содержание начинает уменьшаться с одновре-

Таблица 2. Расчетные фазовый и химический составы клинкеров

Клинкер	Состав сырьевой смеси*, мас. %		Химический состав клинкера, мас. %			
	К	ГА	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Моноалюминатный CA	78,6	21,4	35,8	0,3	63,8	0,1
Диалюминатный CA ₂	57,0	43,0	21,9	0,1	77,8	0,1

*К — клинкер после распада метастабильной фазы; ГА — гидроксид алюминия.

Таблица 1. Химический состав компонентов сырьевой смеси, мас. %

Компонент	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Δm _{прк}
Микрокальцит CaCO ₃	56,35	0,04	0,06	0,04	0,03	0,37	42,80
Гидроксид алюминия Al(OH) ₃	0,01	0,03	65,01	0,01	0	0	34,62
Природный гипс	32,02	0,80	0,45	0,23	44,50	0	0,22

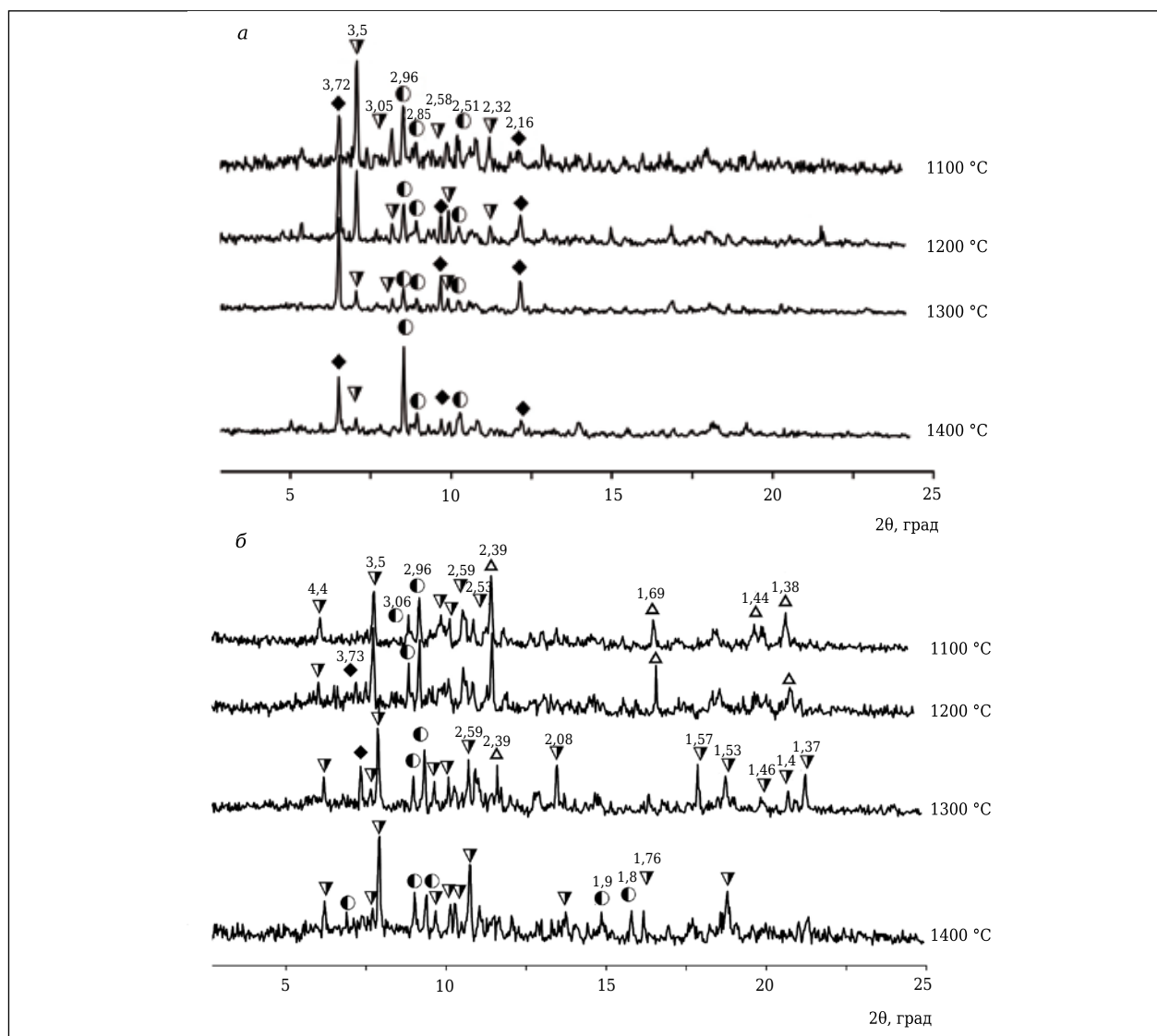


Рис. 1. Результаты РФА продуктов обжига клинкера при различных температурах: моноалюмината кальция СА (а) и однокальциевого диалюмината СА₂ (б): ▼ — СА₂; ○ — СА; ◆ — C₄A₃S; Δ — СаО

менным ростом моноалюминатной фазы СА, при этом наблюдается некоторое снижение содержания фазы СА₂ начиная с температуры обжига 1200 °С. В шихтах, рассчитанных на получение СА₂, происходит потенциальное увеличение диалюминатной фазы (см. рис. 2, б). Содержание свободной извести в клинкерах при различной температуре обжига представлено в табл. 3.

Таблица 3. Содержание свободной извести в клинкерах

Клинкер	Содержание СаО _{св} , мас. %, при температуре обжига, °С			
	1100	1200	1300	1400
Моноалюминатный СА	3,53	2,24	2,01	1,4
Диалюминатный СА ₂	9,69	7,0	4,53	2,52

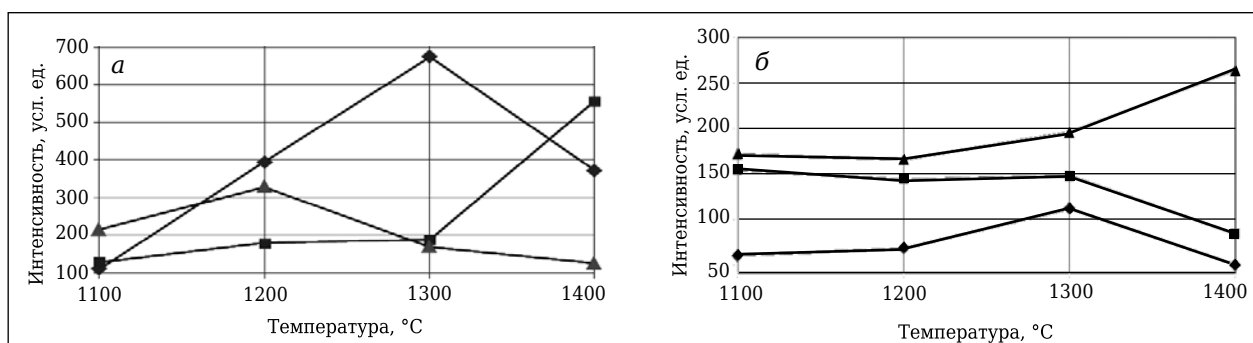


Рис. 2. Изменение интенсивности дифракционных максимумов основных фаз клинкера, рассчитанного на получение СА (а) и СА₂ (б), в зависимости от температуры обжига: ◆ — C₄A₃S (0,372 нм); ■ — СА (0,296 нм); ▲ — СА₂ (0,35 нм)

Результаты исследований обоих клинкеров свидетельствуют, что при температуре обжига 1400 °С в них сохраняется значительное количество сульфоалюмината кальция $C_4A_3\bar{S}$, который, по данным дополнительных исследований, не исчезает даже после 4 ч изотермической выдержки клинкеров при максимальной температуре обжига.

Используя результаты исследований сырьевых смесей, обожженных при 1400 °С с выдержкой 1 ч, синтезировали клинкеры, которые затем измельчали и определяли физико-механические свойства полученных цементов. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Определение физико-механических свойств высокоглиноземистых цементов на основе синтезированных клинкеров свидетельствует, что высокоглиноземистый цемент на основе моноалюминатного клинкера соответствует требованиям ГОСТ 969 к марке ВГЦ I, высокоглиноземистый цемент на основе диалюминатного клинкера — требованиям ГОСТ 969 к марке ВГЦ III.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из сырьевых смесей, содержащих гидрат алюминия, микрокальцит и гипс, при синтезе высокоглиноземистых клинкеров образуется метастабильная фаза — сульфоалюминат кальция.

Библиографический список

1. **Boldyrev, V. V.** The effects of various kind of preliminary treatment on topochemical reactions / V. V. Boldyrev; ed. P. Barret // *Reactions Kinetics On Geterogeneous Chemical Systems* // Amsterdam : Elsevier Sci. Publ. Co., 1975. — P. 598–618.
2. **Болдырев, В. В.** Механические методы активации неорганических веществ / В. В. Болдырев // *Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева*. — 1988. — Т. XXXIII, № 4. — С. 374–383.
3. **Болдырев, В. В.** Влияние дефектов в кристаллах на скорость термического разложения твердых веществ / В. В. Болдырев. — Томск : Изд-во Томского университета, 1963. — 246 с.
4. **Boldyrev, V. V.** Influence des defaults cristallins sur la vitesse de decomposition termique des solides / V. V. Boldyrev // *Bull. Soc. Chem.* — 1969. — № 4. — P. 1054–1060.
5. **Кащеев, И. Д.** Влияние способа измельчения порошков плавного электрокорунда на его свойства / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной // *Электронный журнал «Исследовано в России»*. — 2004. — Режим доступа : <http://zhurnal.ape.relarm.ru/articles/2004/048pdf>.

Таблица 4. Физико-механические показатели цементов

Показатели	Требования ГОСТ 969 к цементу		Фактические значения для цемента, полученного на основе клинкера, рассчитанного на получение	
	ВГЦ I	ВГЦ II	CA	CA ₂
Содержание Al ₂ O ₃ , мас. %	≥60,0	≥80,0	60,7	80,61
Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте:				
1 сут	—	—	26,5	3,0
3 сут	≥35,0	≥25,0	40,5	26,8
Тонкость помола — остаток на сите с сеткой 008 (ГОСТ 6613), %	≤10,0	≤10,0	8,3	6,0
Сроки схватывания:				
начало, мин	≥30,0	≥30,0	62,0	80,0
конец, ч	≤12,0	≤15,0	1,85	2,28
Огнеупорность, °С, не ниже	≥1580	≥1750	1710	1770
Нормальная плотность цементного теста (ГОСТ 310.3), %	—	—	38,3	41,8

Установлено, что метастабильная фаза $C_4A_3\bar{S}$ в процессе обжига распадается и способствует синтезу кальцийалюминатных соединений CA и CA₂.

Показано, что при синтезе кальцийалюминатных клинкеров метастабильная фаза сульфоалюминат кальция полностью не распадается и содержится в продуктах обжига.

Определены физико-механические свойства высокоглиноземистых цементов на основе синтезированных клинкеров, которые соответствуют требованиям ГОСТ 969 к маркам ВГЦ I и ВГЦ III.

6. **Кузнецова, Т. В.** Аллюминатные и сульфоаллюминатные цементы / Т. В. Кузнецова. — М. : Стройиздат, 1986. — 209 с.
7. **Miheenkov, M. A.** Effect of pressing of the raw mix to reduce energy costs in the production of cement / M. A. Miheenkov // *Alitinform*. — 2011. — Vol. 19, № 2. — С. 50–57.
8. **Михеенков, М. А.** Прессование как способ получения сульфатированных гидравлических вяжущих / М. А. Михеенков // *Вестник МГСУ*. — 2011. — № 1. — С. 131–142.
9. **Пат. 2470880 РФ, МПК С 04 В 7/36.** Способ получения цементов / Михеенков М. А., Полянский Л. И., Ветошкин А. В., Кобелев М. В.; патентообладатели Михеенков М. А., Полянский Л. И., Ветошкин А. В., Кобелев М. В. — 2010146939/03; заявл. 17.11.10; опубл. 27.12.12.
10. **Taylor, H. F. W.** Cement Chemistry : Academic Press, 1990, ISBN 0-12-683900-X. — P. 51–54.
11. **Uchikawa, H.** Mineralogical composition of sulphoaluminate cement / H. Uchikawa, M. Suchida // *Cem. Cone. Res.* — 1974. — Vol. 4. — P. 821–824. ■

Получено 18.03.13
© И. Д. Кащеев, М. А. Михеенков,
К. Г. Земляной, 2013 г.

К. т. н. С. И. Боровик, к. т. н. Г. А. Лысова, А. М. Чуклай

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск, Россия

УДК 621.742.48:66-97]:666.762.32

КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ВРЕМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СВЯЗУЮЩЕГО, МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕЛАССОЙ СВЕКЛОВИЧНОЙ, В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕРИКЛАЗОВЫХ ТЕРМОСТОЙКИХ ОГНЕУПОРОВ

Изучены кинетические особенности процессов термической деструкции временного технологического связующего, модифицированного мелассой свекловичной, в производстве периклазовых огнеупоров. Установлено оптимальное соотношение лигносульфоната и мелассы в составе временного связующего, обеспечивающее снижение трещинообразования на технологических переделах прессования и обжига и высокий уровень показателей физико-механических свойств огнеупоров.

Ключевые слова: лигносульфонаты технические, меласса свекловичная, периклазовые огнеупоры, термическая деструкция, компаунд.

Традиционная технология изготовления периклазовых термостойких огнеупорных изделий, предназначенных для футеровки печных агрегатов, работающих в условиях высоких температур, предусматривает использование в качестве временного технологического связующего лигносульфонатов (ЛСТ) — отходов гидролизного производства растительных материалов, смесей солей лигносульфоновых кислот, получаемых из щелоков бисульфитной варки целлюлозы [1, 2]. Вследствие того что лигносульфонаты, используемые на производстве, часто не удовлетворяют требованиям технических условий, применение данного вида связующего не позволяет получить огнеупорный материал с требуемым уровнем показателей физико-механических свойств и отсутствием брака на технологических переделах прессования и обжига. При низком показателе условной вязкости ЛСТ (менее 100 с) не достигается пластичность огнеупорной массы, прессованные изделия характеризуются низкой прочностью, повышенным уровнем дефектности (перепрессовочные трещины, отбитости торцов), а прошедшие высокотемпературную обработку — высоким выходом брака (отбитости углов и ребер, «передавы», трещины и др.).

Известно, что до 30-х годов прошлого столетия в качестве связующих добавок, способных проявлять клеящую способность и придавать пластичность массе, традиционно использовали пищевые продукты: льняное масло, декстрины, патоку. В настоящее время в качестве временного технологического связующего в металлургическом

производстве при брикетировании углеродсодержащих материалов и железосодержащих отходов, в производстве футеровочных огнеупорных изделий и для других целей широко используются свекловичная патока (меласса) и компаунды на ее основе (ТУ 2455-028-00279580–2004. Лигносульфонаты технические жидкие и порошкообразные) [3, 4].

В связи с этим актуальной представляется задача усовершенствования существующей технологии производства обожженных периклазовых огнеупоров путем применения модифицированных технических лигносульфонатов.

Для оценки влияния мелассы на технологические свойства связующего изучены свойства и кинетические особенности процессов термической деструкции ЛСТ, мелассы свекловичной (МС) и компаундов на их основе (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические свойства связующих материалов и компаундов на их основе

Показатели	Связующие материалы		Компаунд ЛСТ, % / МС, %				
	ЛСТ	МС	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60
Массовая доля сухих веществ, %	59,9	80,1	67,2	67,8	69,0	69,4	71,7
Водородный показатель рН	4,9	6,8	5,1	5,3	5,4	5,6	5,7
Массовая доля общей золы в пересчете на сухое вещество, %	20,0	7,3	13,1	13,3	12,6	11,7	9,7
Плотность при 20 °С, мг/мл	1,317	1,391	1,337	1,340	1,346	1,347	1,349
Содержание влаги, %	40,1	19,9	32,2	32,8	31,0	30,6	28,3
Условная вязкость при 20 °С, с	42,0	77,0	8,4	9,0	9,0	8,0	8,2

Лигносультфонаты относятся к поверхностно-активным веществам (ПАВ), молекулы которых состоят из двух частей: полярной части, к ней относятся группы OH^- , COOH^- , CHO^- , SO_2OH^- , и неполярной, состоящей из углеводородной цепи (ароматического радикала). Основная часть сухого остатка приходится на органические вещества (главным образом на несачарные, т. е. на лигносультфонный комплекс). Меласса также является ПАВ, но менее химически активным, ее молекулы состоят из дисахаридов.

Кинетические закономерности процессов термической деструкции изучали методом дифференциального термогравиметрического анализа (ДТГ). Термогравиметрический анализ проводили в интервале 20–530 °C с постоянной скоростью подъема температуры 4 град/мин в атмосфере собственных паров. В указанных условиях эксперимента общая скорость

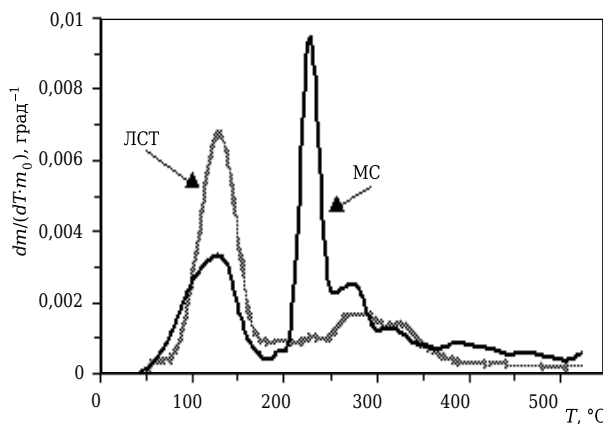


Рис. 1. ДТГ-кривые термической деструкции лигносультфонатов (ЛСТ) и мелассы (МС)

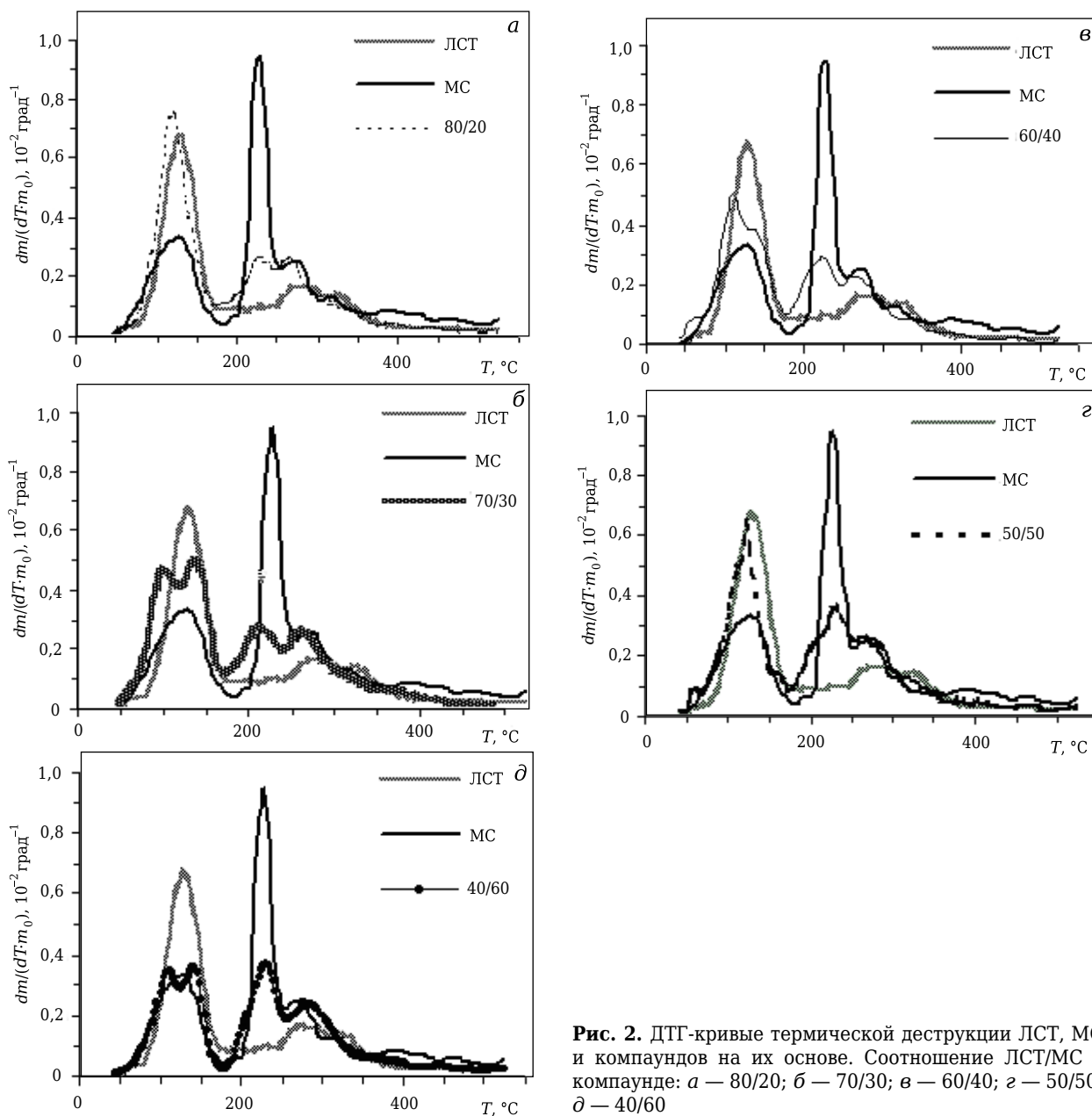


Рис. 2. ДТГ-кривые термической деструкции ЛСТ, МС и компаундов на их основе. Соотношение ЛСТ/МС в компаунде: а — 80/20; б — 70/30; в — 60/40; г — 50/50; д — 40/60

процесса определяется наиболее медленной скоростью термохимической деструкции. Стадия диффузии не самая медленная и, следовательно, не лимитирует общую скорость процесса [5].

На рис. 1, 2 представлены дифференциальные термогравиметрические кривые образцов МС, ЛСТ и компаундов на их основе, представляющие собой температурные зависимости приведенной скорости потери массы от температуры процесса:

$$1/m_0 \cdot \Delta m / \Delta T,$$

где m_0 — исходная навеска материала, г; Δm — изменение массы, г, в интервале температуры ΔT , град; T — температура, °С.

Каждая из ДТГ-кривых состоит из нескольких четко выраженных максимумов, свидетельствующих о схожести процессов термохимической деструкции исследуемых образцов и многостадийном характере этих процессов.

На ДТГ-кривых процесса термической деструкции ЛСТ и МС (см. рис. 1) в интервале 50–180 °С наблюдается один четко выраженный пик с максимумом при 128 °С (табл. 2), который соответствует выделению адсорбционной воды. При термической деструкции ЛСТ на этой стадии потеря массы вещества составляет 34,75 %, для МС — 23,13 %. Выделение воды для ЛСТ протекает в более узком интервале температур и с более высокой скоростью, чем для МС (см. табл. 2). Второй температурный максимум на ДТГ-кривой термической деструкции МС и ЛСТ лежит в интервале 181–251 °С и 184–313 °С соответственно (см. рис. 1) и состоит из одного ярко выраженного интенсивного пика при

280 °С для ЛСТ и 228 °С — для МС, что свидетельствует о начальной стадии деструкции вещества.

Выше 250–260 °С протекают процессы термической деструкции самих веществ, приводящие в конечном итоге к карбонизации вещества и образованию углеродного остатка. На ДТГ-кривых в высокотемпературной области наблюдается снижение скорости и потери массы вещества (см. рис. 1, табл. 2).

На ДТГ-кривых термической деструкции компаундов, приготовленных на основе ЛСТ и МС (см. табл. 1), также наблюдаются последовательные максимумы в исследуемом интервале температур (см. рис. 2, табл. 2). При высоком содержании ЛСТ в компаунде 80/20 на ДТГ-кривой в низкотемпературной области присутствует один четко выраженный пик, максимум которого сдвинут в низкотемпературную область относительно исходных веществ (см. рис. 2). Увеличение содержания МС в компаунде приводит к расщеплению максимума в низкотемпературной области и образованию двух частично перекрывающихся пиков для всех исследованных смесей (см. рис. 2, табл. 2). Потеря массы вещества в интервале низкотемпературных максимумов I и I' для всех компаундов снижается: с 36,91 % (для смеси 80/20) до 13,07 + 11,0 = 24,07 % (для смеси 40/60), что, вероятно, связано с увеличением МС в компаунде, содержащей влаги в 2 раза больше, чем ЛСТ.

Анализ ДТГ-кривых позволяет только на качественном уровне судить о процессе термической деструкции исходных веществ и компаундов на их основе. Для более детального рассмотрения процесса термической деструкции исследуемых веществ, а также количественной оценки влия-

Таблица 2. Кинетические параметры ДТГ-кривых термической деструкции МС, ЛСТ и компаундов на их основе

Температурный интервал максимума на ДТГ-кривой (рис. 2)	Кинетические параметры*	МС	ЛСТ	Компаунд				
				80/20	70/30	60/40	50/50	40/60
I	T_1-T_2 , °С	55–181	78–184	58–172	55–116	72–128	52–116	55–125
	$T_{\max}$, °С	128	128	119	99	110	110	110
	$\Delta m / (\Delta T \cdot m_0) \cdot 10^{-3}$, К ⁻¹	3,34	6,73	7,54	4,69	5,02	4,99	3,43
	φ , %	23,13	34,75	36,91	17,81	18,67	13,47	13,07
I'	T_1-T_2 , °С				116–166	128–178	116–178	125–178
	$T_{\max}$, °С				137	137	122	140
	$\Delta m / (\Delta T \cdot m_0) \cdot 10^{-3}$, К ⁻¹				5,03	3,87	6,49	3,61
	φ , %				18,49	13,16	17,10	11,00
II	T_1-T_2 , °С	181–251	184–313	172–245	166–239	178–248	178–251	178–257
	$T_{\max}$, °С	228	280	228	210	225	231	231
	$\Delta m / (\Delta T \cdot m_0) \cdot 10^{-3}$, К ⁻¹	9,47	0,995	2,67	2,76	2,89	3,52	3,71
	φ , %	26,78	15,48	13,32	14,93	15,43	18,29	16,94
III	T_1-T_2 , °С	251–301	313–365	245–289	239–301	248–321	251–321	257–336
	$T_{\max}$, °С	275	327	263	260	263	272	283
	$\Delta m / (\Delta T \cdot m_0) \cdot 10^{-3}$, К ⁻¹	2,51	1,37	2,64	2,64	2,32	2,52	2,37
	φ , %	10,57	5,60	9,73	12,60	12,84	13,57	14,18
Суммарное количество разложившегося вещества на данных максимумах, %		60,48	50,24	59,97	63,83	60,09	62,44	55,18

* φ — потеря массы.

ния содержания исходных веществ в смеси на процесс термической деструкции выполнен кинетический анализ полученных экспериментальных результатов.

Кинетический анализ ДТГ-кривых, полученных методом термогравиметрии, проводили исходя из предположения, что процесс потери массы подчиняется кинетике первого порядка относительно исходного вещества. Для обработки кинетических кривых, полученных в неизотермических условиях проведения эксперимента, использовали уравнение Аррениуса

$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T}}; \quad (1)$$

уравнение константы скорости I порядка

$$k_1 = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{m_0}{m}, \quad (2)$$

так как кинетика потери массы вещества в результате термической деструкции подчиняется I порядку относительно исходного вещества.

Вследствие того что температура процесса возрастает с постоянной скоростью β , из уравнений (1) и (2) следует уравнение, связывающее константу скорости I порядка в условиях линейного подъема температуры с уравнением Аррениуса:

$$k = \frac{\beta}{T - T_0} \cdot \ln \frac{m_0}{m} = A \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T}}, \quad (3)$$

или

$$\ln k = \ln \ln \frac{m_0}{m} - \ln \frac{T - T_0}{\beta} = \ln A - \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T}, \quad (4)$$

где k — константа скорости реакции I порядка, мин⁻¹; T_0 — исходная температура начала процесса потери массы образца, К; T — текущая температура процесса термической деструкции, К; E и A — эффективная энергия активации, кДж/моль, и предэкспоненциальный множитель, мин⁻¹, в уравнении Аррениуса соответственно; m_0 — масса исходной навески вещества, мг; m — масса навески вещества при температуре T , мг; β — скорость подъема температуры, град/мин.

Зависимости $\ln k-1/T$ процесса термической деструкции исходных МС, ЛСТ, а также компаундов на их основе состоят из прямолинейных участков, различающихся наклоном относительно осей координат и соответствующих определенной кинетической стадии процесса (рис. 3). По результатам кинетического анализа для образцов ЛСТ и мелассы характерно наличие шести последовательных температурных стадий (I–VI), для компаундов — характерно семь (I–VII) четко выраженных последовательных температурных кинетических стадий (см. рис. 3).

В табл. 3 приведены рассчитанные при кинетическом анализе температурные интервалы каждой стадии: T_1 — температура начала стадии, T_2 — температура окончания стадии (°C), значения кон-

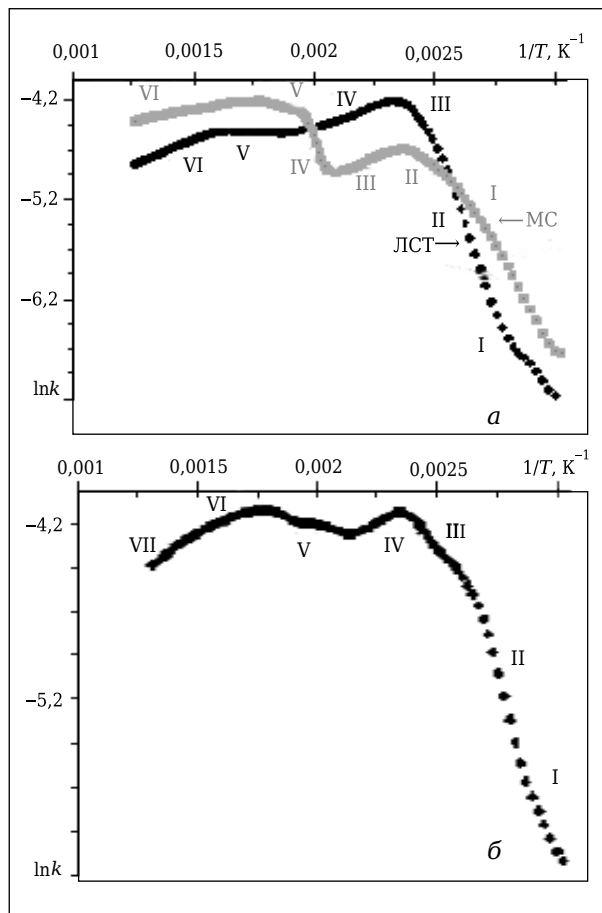


Рис. 3. Аррениусовские зависимости процесса термической деструкции ЛСТ и МС (а) и компаундов на их основе (б)

стант скорости процесса k_1 и k_2 , определенные при температурах T_1 и T_2 соответственно, эффективной энергии активации E и степени потери массы ϕ на каждой кинетической стадии, коэффициента парной корреляции R . На некоторых участках эффективная энергия активации имеет отрицательное значение, что свидетельствует о том, что на данном участке этот показатель является температурным коэффициентом и в табл. 3 эффективных кинетических параметров числовое значение не указано.

Сравнение температурных интервалов максимумов на ДТГ-кривой (см. табл. 2) и линейных участков, полученных на аррениусовской зависимости (см. табл. 3), позволяет сделать заключение, что на аррениусовской зависимости фиксируются последовательные температурные стадии, соответствующие стадийному удалению адсорбционной и координационно-связанной воды и термической деструкции самого вещества.

Потеря массы, соответствующая температурной стадии I на аррениусовской зависимости (см. табл. 3) для всех исследованных веществ, за исключением МС, для которой данная стадия не наблюдается, составляет 0,6–1,9 %, что свидетельствует об испарении воды из материала. Температурные стадии II и III на аррениусовской зависимости соответствуют тем-

пературным интервалам I и I' максимумов на ДТГ-кривой (см. табл. 2) соответственно. Увеличение эффективной энергии активации процесса на стадии II, по-видимому, обусловлено возрастанием сил межмолекулярного взаимодействия воды и молекул углеводородов и соответствующим ростом энергии гидратации.

Количество разложившегося вещества, выделяющегося на каждой из стадий, определяется содержанием МС и ЛСТ и связано с перестройкой надмолекулярной структуры.

Увеличение и уменьшение содержания ЛСТ в смеси приводит к снижению содержания разложившегося вещества на стадии III и возрастанию на стадии II (см. табл. 3). На температурной стадии III в компаунде 70/30 отмечается максимальное количество разложившегося вещества в сравнении с другими компаундами.

Таким образом, можно предположить, что в компаунде 70/30 наблюдаются более глубокие процессы перестройки надмолекулярной структуры, которые подтверждаются высокими значениями эффективной энергии активации, в качестве основного процесса протекает термическая деструкция молекул с гомолитическим разрывом квантовых химических связей и образованием свободно-радикальных продуктов термохимической деструкции.

Последующая кинетическая стадия IV термодеструкции характеризуется нулевым значением эффективной энергии активации (см. табл. 3, рис. 3), а стадия V — низкими значениями. Этот факт может быть обусловлен протеканием химических реакций с участием образовавшихся на стадии III свободных радикалов. Свободные радикалы отличаются очень высокой реакционной способностью.

Таблица 3. Эффективные кинетические параметры процесса термической деструкции МС, ЛСТ и компаундов на их основе

Температурная стадия (рис. 3)	Кинетические параметры	МС	ЛСТ	Компаунд				
				80/20	70/30	60/40	50/50	40/60
I	T_1-T_2 , °C	61–116	61–87	61–75	58–75	61–81	58–75	61–75
	$(k_1-k_2) \cdot 10^{-3}$, мин ⁻¹	1,21–6,60	0,78–1,52	0,98–1,42	2,22–3,49	3,72–3,99	2,75–3,37	1,09–1,64
	$E \pm \Delta E$, кДж/моль	34,2±0,5	24,9±0,6	25±3	24,9±0,8	3,2±0,7	13,3±0,6	28±3
	ϕ , %	10,10	1,15	0,64	1,83	1,82	1,57	0,75
	R	0,998	0,998	0,978	0,998	0,879	0,996	0,972
II	T_1-T_2 , °C		87–128	75–125	75–108	81–122	75–125	75–113
	$(k_1-k_2) \cdot 10^{-3}$, мин ⁻¹		1,52–10,11	1,4–13,67	3,49–10,65	3,99–11,19	3,37–11,55	1,64–6,31
	$E \pm \Delta E$, кДж/моль		57,4±0,7	54,6±0,8	40±1	32,0±0,8	29,8±0,5	40,7±0,4
	ϕ , %		16,03	21,58	11,99	15,75	17,96	8,59
	R		0,999	0,998	0,995	0,997	0,998	0,999
III	T_1-T_2 , °C	116–149	128–151	125–143	108–154	122–154	125–143	113–154
	$(k_1-k_2) \cdot 10^{-3}$, мин ⁻¹	6,61–9,14	10,11–14,69	13,67–16,56	10,65–16,18	11,19–13,68	11,55–13,43	6,31–9,68
	$E \pm \Delta E$, кДж/моль	14,0±0,8	23±2	15±2	12,7±0,3	9,0±0,4	12±2	14,4±0,4
	ϕ , %	10,25	13,66	9,09	20,87	11,82	7,05	12,87
	R	0,983	0,978	0,967	0,978	0,990	0,953	0,995
IV	T_1-T_2 , °C	149–201	151–260	143–210	154–198	154–198	143–198	154–198
	ϕ , %	3,64	11,85	10,43	6,19	6,13	7,44	2,99
	R	0,991	0,996	0,986	0,992	0,987	0,994	0,993
V	T_1-T_2 , °C	201–242		210–277	198–298	198–242	198–242	198–242
	$(k_1-k_2) \cdot 10^{-3}$, мин ⁻¹	7,35–13,40		13,76–15,67	14,36–16,31	12,32–13,62	11,43–13,43	7,89–9,89
	$E \pm \Delta E$, кДж/моль	44±2		4,38±0,08	3,08±0,08	4,9±0,2	9,0±0,3	12,1±0,6
	ϕ , %	23,41		16,39	22,51	11,75	13,30	12,49
VI	T_1-T_2 , °C	242–289	260–351	277–357	298–386	242–289	242–307	242–321
	$(k_1-k_2) \cdot 10^{-3}$, мин ⁻¹	13,40–14,85	10,77–10,88			13,62–14,51	13,43–15,12	9,89–11,41
	$E \pm \Delta E$, кДж/моль	5,2±0,1	0,49±0,07			2,9±0,1	5,2±0,1	5,1±0,1
	ϕ , %	11,48	12,87	9,21	6,84	9,92	14,51	16,01
VII	T_1-T_2 , °C	289–524	351–524	357–524	386–524	289–524	307–524	321–524
	ϕ , %	17,39	5,03	5,03	7,50	11,11	9,47	8,93
	R	0,992	0,999	0,999	0,998	0,993	0,994	0,996
	Суммарное количество разложившегося вещества, %	76,27	60,60	72,44	77,74	68,18	71,22	62,63

Для вступления в реакцию этих высокоактивных частиц не требуется дополнительной энергии, поэтому энергия активации для таких реакций весьма мала или равна нулю.

На температурной стадии V для компаунда 70/30 отмечается сдвиг процесса термической деструкции в высокотемпературную область (198–298 °C). Эффективная энергия активации имеет минимальное значение, константа скорости реакции и количество разложившегося вещества — максимальны по сравнению с этими параметрами остальных компаундов. Увеличение и уменьшение содержания МС в компаундах (в сравнении с компаундом 70/30) приводит к возрастанию энергии активации (например, для компаунда 40/60 в 4 раза), снижению константы скорости реакции и сдвигу процесса в низкотемпературную область. Это подтверждает предположение о максимальном взаимодействии ЛСТ и МС в компаунде 70/30, приводящем к более глубокой перестройке надмолекулярной структуры. Из данных табл. 3 следует, что уменьшение содержания ЛСТ в компаунде приводит к снижению его влияния на надмолекулярную структуру и возрастанию влияния МС.

Последние, наиболее высокотемпературные кинетические стадии — VI и VII характеризуются невысокими значениями эффективной энергии активации. Возможно, что основным процессом этих стадий является карбонизация — образование углеродистого остатка. Для компаундов, содержащих в своем составе 70 и 80 % ЛСТ, процесс на стадии VI сдвинут в высокотемпературную область и для компаундов 70/30 этот сдвиг является максимальным, а количество вещества, выделившегося на этой стадии, — минимальным. Увеличение содержания МС в компаундах приводит к сдвигу процесса в низкотемпературную область и возрастанию количества вещества, претерпевающего изменение. Максимальная общая потеря массы при 524 °C отмечена для компаунда 70/80 и составляет 77,74 % (см. табл. 3).

Особенности кинетических параметров процесса термохимической деструкции обусловлены различиями в химическом составе исследуемых образцов компаундов. Следует отметить, что приведенное заключение о процессах, протекающих на разных температурных стадиях термохимической деструкции

Таблица 4. Физико-механические свойства огнеупорного материала марки ХПТ

Показатели	Лабораторные образцы				Промышленные изделия	
	80/20	70/30	60/40	50/50	опытные	рядовые
Кажущаяся плотность, г/см ³	3,18	3,20	3,15	3,07	3,14	3,13
Предел прочности при сжатии, МПа	18,9	20,3	18,6	17,0	51,6	41,3

изученных компаундов, носят предположительный характер, поскольку сформулированы на основании результатов кинетического анализа.

На основании результатов кинетического анализа деструкции изученных компаундов содержание ЛСТ в компаунде 70 % является оптимальным, что подтверждается лабораторными и промышленными испытаниями компаундированного связующего в производстве периклазовых огнеупорных материалов (табл. 4).

Введение мелассы в состав временного технологического связующего позволило стабилизировать качество ЛСТ, снизить трещинообразование, обеспечить достаточную прочность материала для исключения деформации сырца при съеме и укладке, а также изделий при транспортировке, достичь уровня физико-механических свойств, сопоставимого с требованиями Технических условий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кинетический анализ ЛСТ, МС и компаундов на их основе показал, что в компаунде 70/30 протекает более глубокое химическое взаимодействие между ЛСТ и МС, обеспечивающее высокую степень термической деструкции временного технологического связующего и формирование оптимальной структуры огнеупорного материала на стадии высокотемпературного обжига.

Использование свекловичной мелассы в составе временного технологического связующего обеспечивает улучшение физико-механических свойств огнеупоров и низкий уровень трещинообразования на технологических переделах прессования и обжига.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кашеев, И. Д.** Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок : справочник. В 2 кн. Кн. 1. Производство огнеупоров / составители И. Д. Кашеев, В. Г. Алфеева, М. Г. Ладыгичев [и др.] ; под ред. И. Д. Кашеева. — М. : Интернет Инжиниринг, 2002. — 650 с.
2. **Павлуненко, Л. Е.** Экологически чистая добавка в производстве фарфоровых изделий / Л. Е. Павлуненко // Стекло и керамика. — 2002. — № 2. — С. 31,32.
3. ГОСТ Р 52304-2005. Меласса свекловичная.

4. Технология гидролизного и сульфитно-спиртового производства / под ред. В. И. Шаркова. — М. : Гослесбумиздат, 1959. — 440 с.
5. **Генерозов, Б. А.** Технический анализ в металлургическом и коксохимическом производствах / Б. А. Генерозов. — М. : Металлургиздат, 1959. — 260 с. ■

Получено 10.02.13
© С. И. Боровик, Г. А. Лысова,
А. М. Чуклай, 2013 г.

УДК 666.762.11.091

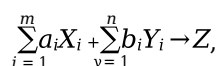
ПРИМЕНЕНИЕ СВС В СУХИХ СМЕСЯХ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛА И ОКИСЛИТЕЛЕЙ

Показаны результаты развития кристаллической $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазы, размеров кристаллов, степени кристаллизации корундовой фазы, микроструктуры, удельной поверхности порошков и распределению размеров частиц, полученных в ходе горения в сухих смесях компонентов с использованием порошка алюминия и различных окислителей. Горение порошка алюминия в присутствии окислителей в направлении от нитрата калия к перхлорату калия способствует формированию более широких, кристаллических и одновременно интенсивных дифракционных максимумов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -фазы. Это отражается на меньших размерах кристаллов и степени кристаллизации корундовой фазы. Развитие микроструктуры порошков определяется плотно спекшимися частицами, состоящими из мягких и твердых агломератов. Она является относительно пористой в ходе горения с участием мощных окислителей. Это сказывается на менее развитой удельной поверхности порошков и более широком распределении размеров частиц, расположенном в области их крупных фракций в диапазоне 5–54 мкм, в отличие от порошка, полученного с использованием нитрата калия, размеры частиц которого располагаются в диапазоне 0,5–1,2 мкм.

Ключевые слова: горение в сухих смесях, порошок алюминия, окислители, фаза $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

С тех пор как в 1967 г. А. Г. Мержановым с со-трудниками (И. П. Боровинской и В. М. Шкиро) было открыто явление распространения фронта горения в сухих смесях порошков тугоплавких химических элементов с получением тугоплавких соединений [1], происходит его дальнейшее распространение в развитии других видов горения на основе сухих смесей компонентов [2]. Открытое явление получило название «феномен твердого пламени», которое указывает на особый вид горения, при котором все компоненты — исходные, конечные и, возможно, промежуточные — присутствуют в твердом состоянии даже при максимальной температуре горения.

Обобщенная химическая схема процесса горения в сухих смесях компонентов имеет вид [1]:



где X — порошки металлов; Y — неметаллы, или окислители; Z — продукт горения: карбиды, силициды, бориды, оксиды.

Различают горение, в основе которого лежат реакции восстановительного вида [3–9], и горение на основе окислительных реакций [10–14]. К первой группе относятся карботермия [3, 4], силикотермия [5], боротермия [6], сиалотермия [7] и виды металлотермии: алюминотермия [8, 9] и магниотермия [9]. Ко второй группе относятся более современные виды горения, базирующиеся на взаимодействии порошка металла, например порошка алюминия, с окислителями различных видов и мощности [10–14].

В отличие от самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) на водной основе горение в сухих смесях компонентов — самоподдерживающееся, т. е. инициировав горение сухой смеси компонентов, фронт горения самостоятельно распространяется через эту смесь, теплота генерируется внутри самой смеси. Отсюда, такое горение в большей степени отвечает термину самораспространяющийся синтез горения [5, 7–11].

СВС в сухих смесях компонентов — один из примитивных видов горения, но в то же время наиболее практичный метод при получении порошков [11, 12]. Практичность метода связана с его преимуществами [11, 13]:

- относительно низкой себестоимостью исходных компонентов;
- удобством и простотой смешивания исходных компонентов;
- возможностью приготовления и получения больших порций (до 100 г или до 1 кг) смесей исходных компонентов и продуктов горения (порошков), соответственно, в ходе одного этапа синтеза горения;
- отсутствием необходимости применения внешнего источника подвода теплоты, например плиток, т. е. энергозатратность сведена к минимуму;
- удобством и простотой в инициации синтеза горения;
- достаточно высокой реакционной способностью получаемых сухих смесей исходных компонентов;
- возможностью проведения горения на открытом пространстве;

– применением синтеза горения в сухих смесях компонентов в производственных масштабах.

В то же время этому методу присущи отдельные недостатки [10, 12]: проведение реакций горения на месте приготовления смесей исходных компонентов; высокая скорость и экзотермичность реакций горения, что приводит к частичному испарению исходных компонентов и продуктов горения; неуправляемость реакциями горения в сухих смесях исходных порошков, что определяется непосредственно свойствами используемых исходных компонентов; возможность развития реакций взрывного типа в ходе инициации горения, что связано с резким, мощным разогревом исходных компонентов и выделением соответствующего количества теплоты.

При выполнении данной работы проводили синтез горения в сухих смесях исходных компонентов с использованием порошка алюминия и различных окислителей в насыпном состоянии, изучали развитие кристаллической фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, определяли размеры кристаллов, степень кристаллизации корундовой фазы, удельную поверхность порошков и распределение размеров частиц в полученных порошках; исследовали микроструктуру.

Для проведения синтеза горения в сухих смесях применяли исходные компоненты в мольных соотношениях, указанных табл. 1. Характеристика компонентов приведена в табл. 2.

Способ приготовления сухой смеси исходных компонентов, проведение синтеза горения и стадий «обработки» полученного порошка показаны на рис. 1.

Состав фаз в порошках, полученных после горения, определяли рентгенодифракционным методом (модель PANalytical X'Pert PRO с $\text{Cu K}\alpha$ -радиацией со сканирующим интервалом $2\theta = 10\div 70^\circ$ и скоростью 4 град/мин).

Размеры кристаллов в порошках определяли по рентгенодифракционным максимумам и рассчитывали по формуле Шеррера

$$D = k\lambda / B \cos\theta,$$

где D — размер кристаллов, нм (мкм); k — постоянная Шеррера, $k = 0,87\div 1,0$; λ — длина волны рентгеновского луча, нм, $\lambda = 0,15418$ нм; B — величина, рассчитанная по разнице углов отражения рентгеновского луча, рад, величину B рассчитывали по формуле $B = \theta_2 - \theta_1$, которые соответствуют полуинтенсивности пика; θ — соответствует максимальной интенсивности пика.

Степень кристаллизации корундовой фазы определяли по формуле

$$W = I_{\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3} / (I_{\max} \cdot 100),$$

где W — степень кристаллизации, %; $I_{\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3}$ — интенсивность пика $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; $I_{\max}$ — максимальная интенсивность пика $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Морфологию частиц и микроструктуру синтезированных порошков определяли, используя сканирующий электронный микроскоп (СЭМ, модель Tescan Mira/LMU с системой EDS); удель-

Таблица 1. Мольные соотношения исходных компонентов

Состав	Окислитель*	Мольное соотношение исходных компонентов
а	KNO_3	1 : 1
б	KClO_3	1 : 2
в	KClO_4	1 : 2

* Топливом служит Al.

Таблица 2. Характеристика исходных компонентов

Исходный компонент	Производитель	Степень чистоты, %
KNO_3	ACROS Organics, Belgium	97,5
KClO_3	Sigma Aldrich	98,0
KClO_4	ACROS Organics, Belgium	98,5
Al	Merck, Germany	97,0

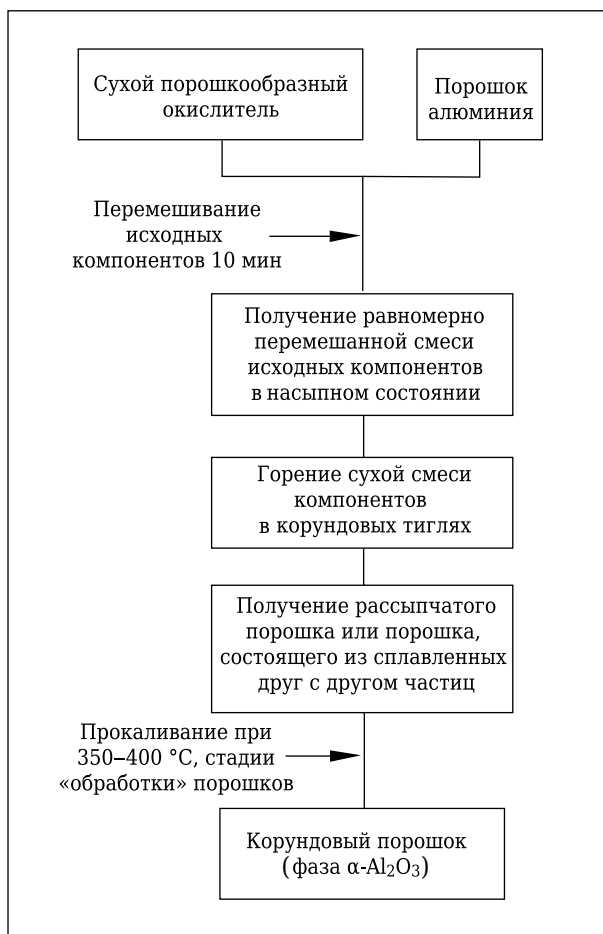


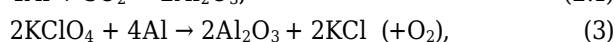
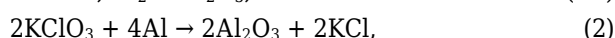
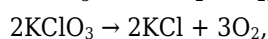
Рис. 1. Схема приготовления сухой смеси исходных компонентов, проведение синтеза горения и стадий «обработки» порошка

ную поверхность порошков — с помощью Autosorb Quantach-rome Instrument модели Nova 1200 E-series в атмосфере азота; распределение размеров частиц в порошках — с применением лазерного гранулометра модели Analysette 22 Nano Tec.

Порошки прокаливали в высокотемпературной муфельной печи модели N 17/HR, C 250.

Температуру горения в сухих смесях компонентов определяли с использованием оптического пирометра Cyslops модели 300 AF с регулируемой в нем термпарой, регистрирующей выделяющуюся теплоту в ходе горения.

Обобщенные реакции горения с участием окислителей и топлива (порошка алюминия) в соответствующих молярных соотношениях приведены ниже: распад KNO_3 , KClO_3 и KClO_4 :



Температуры горения в сухих смесях компонентов следующие: $2\text{KNO}_3 + 2\text{Al}$ (1085 ± 10) °C, $2\text{KClO}_3 + 4\text{Al}$ (1210 ± 10) °C, $2\text{KClO}_4 + 4\text{Al}$ (1250 ± 10) °C. Температура повышается при увеличении мощности окислителя.

На рентгенограмме (рис. 2) интенсивность развития дифракционных максимумов фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ определяется окислителем, используемым в ходе горения в сухих смесях компонентов.

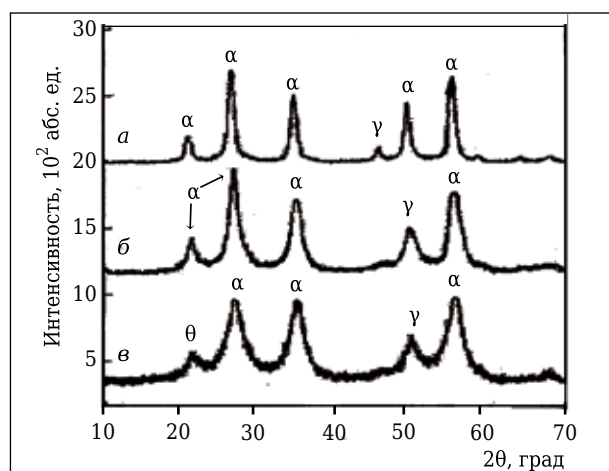


Рис. 2. Результаты рентгенофазового анализа порошков, полученных в ходе горения в сухих смесях компонентов: θ — $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$; γ — $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$; α — $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

Горение порошка алюминия в присутствии окислителей в направлении от нитрата калия к перхлорату калия способствует переходу от более узких, кристаллических и интенсивных к таким же интенсивным, но более широким у основания дифракционным максимумам корундовой фазы. Это связано с большими скоростью и мощностью горения порошка алюминия вследствие большего количества выделяющегося кислорода при распаде более мощных окислителей (составы б, в). С другой стороны, более активная диффузия кислорода через образу-

ющиеся в ходе распада окислителей расплавы хлорида калия (составы б, в) в силу их меньшей вязкости в отличие от образующегося расплава нитрита калия (состав а) также способствует увеличению интенсивности кристаллизации фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Таким образом, независимо от молярных соотношений компонентов (см. табл. 1) горение в сухих смесях определяется в основном действием самих окислителей (см. реакции (1)–(3)) в отличие от горения на водной основе, регулируемого теплотой от сгорания топлива [15]. Наблюдаются также некоторые слабокристаллические фазы γ - и $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Различное развитие корундовой фазы в порошках при использовании разных окислителей отражается на размерах кристаллов и степени кристаллизации (табл. 3).

Размеры кристаллов фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (см. табл. 3) в полученных порошках увеличиваются в направлении от перхлората калия к нитрату калия. На размер кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ влияют различная интенсивность и мощность горения порошка алюминия в присутствии разных окислителей, это сказывается также на равномерности роста кристаллов в порошках (см. табл. 3). Это отражается на ширине развивающихся в ходе горения дифракционных максимумов фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (см. рис. 2).

Наиболее интенсивное увеличение степени кристаллизации фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ вплоть до 31,2 % (см. табл. 3) наблюдается в порошке, полученном в ходе горения порошка алюминия в присутствии нитрата калия. Наблюдается образование более кристаллических и интенсивных дифракционных максимумов фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (см. рис. 2, состав а). Однако меньшая степень кристаллизации фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ происходит в порошках, полученных при горении порошка алюминия в присутствии более мощных окислителей — хлората и перхлората калия.

Таблица 3. Размер кристаллов, степень кристаллизации фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и удельная поверхность порошков

Состав	Размер кристаллов, мкм	Степень кристаллизации, %	Удельная поверхность, м ² /г
а	35–40,5	29,5–31,2	26,7–25,6
б	22–23,4	21,8–22,7	21,0–19,3
в	17,5–19,5	17,5–19,3	19,3–17,5

Отличительные особенности порошков влияют также на развитие микроструктуры (рис. 3). Менее активное горение в присутствии нитрата калия (см. рис. 3, состав а) формирует порошок с относительно равномерной, плотной микроструктурой с присутствующими мелкими частицами размерами от 0,2–0,5 до ~ 2,5 мкм. Это объясняется наименьшими интенсивностью и количеством выделяющегося кислорода при распаде нитрата калия по сравнению с более мощными окислителями.

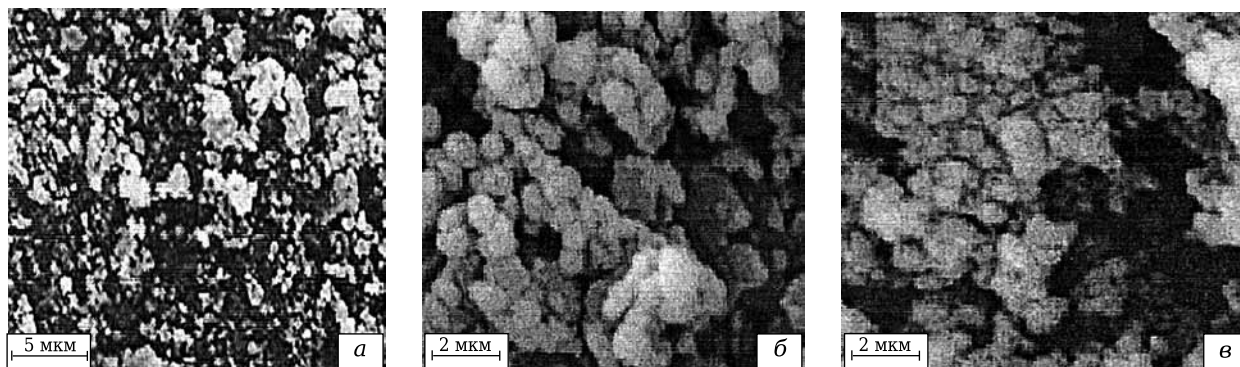


Рис. 3. Микроструктура порошков после горения в сухих смесях компонентов составов а–в (СЭМ)

Совершенно другая микроструктура порошков развивается при использовании хлората и перхлората калия (см. рис. 3, составы б, в). Микроструктура достаточно плотная, состоящая в основном из плотно спекшихся частиц, формирующих мягкие и твердые агломераты вследствие более быстрой инициации горения, а значит, более резкого разогрева исходных компонентов и более интенсивного горения. На практике это вызывает оплавление и сплавление частиц. В ходе горения формированию и развитию агломератов способствуют несколько факторов: образующийся при распаде хлората и перхлората калия расплав хлорида калия, более активный перенос теплоты от сгорания порошка алюминия через каналы, формирующиеся в ходе горения выделяющимся кислородом пор, и образование расплава из порошка алюминия ($T_{пл}$ около 660 °С) при его горении. В последнем случае это связано с большей вязкостью расплава алюминия по сравнению с вязкостью образующегося расплава хлорида калия, что помогает «стягивать» частицы, способствуя межзеренной диффузии в формировании агломератов. Во втором случае это способствует образованию относительно пористой микроструктуры (см. рис. 3, составы б, в), особенно в порошке, полученном с участием перхлората калия. Это объясняется наибольшими интенсивностью и количеством выделяющегося кислорода в ходе распада данного окислителя (состав в). В целом микроструктуры порошков (см. рис. 3, составы б, в) практически идентичны, что обусловлено почти одинаковой их окислительной способностью.

Различное развитие микроструктуры порошков в ходе горения отражается на удельной поверхности порошков (см. табл. 3).

Удельная поверхность порошка, полученного с применением нитрата калия, наиболее развита в сравнении с удельной поверхностью порошков, полученных с использованием мощных окислителей (см. табл. 3, составы б, в). Происходит процесс агломерации в ходе горения образующихся частиц (см. рис. 3, составы б, в). Одновременно развитие удельной поверхности порошков определяется крошением частиц под действием избыточного давления выделяющегося кислорода.

Горение порошка алюминия в присутствии нитрата калия в проведенных экспериментах характеризовалось менее ярким и мощным пламенем в отличие от горения порошка алюминия в присутствии хлората и перхлората калия. Объясняется это различиями в их окислительной способности, что влияет на внешний вид получаемых порошков после горения. Так, продукты горения порошков составов б, в были представлены порошками, содержащими различное количество оплавленных и сплавленных друг с другом частиц. Напротив, порошок состава а выглядел более раскрошенным и рассыпчатым, состоящим из мелких частиц Al_2O_3 .

Различия в развитии микроструктуры порошков влияют на распределение размеров частиц, что показано на рис. 4.

Кривые полидисперсности размеров частиц характеризуются расположением в разных диапазонах размеров частиц. Кривая распределения размеров частиц для порошка состава а в большей степени располагается в области частиц мелких фракций, которые содержат примерно до 60 % частиц размерами 0,56–0,97 мкм. В порошке менее 10 % частиц размерами 1,0–1,2 мкм. Порошки, полученные с применением более мощных окислителей (составы б, в), характеризуются более широкими и менее интенсивными кривыми распределения размеров частиц. Кривые распределе-

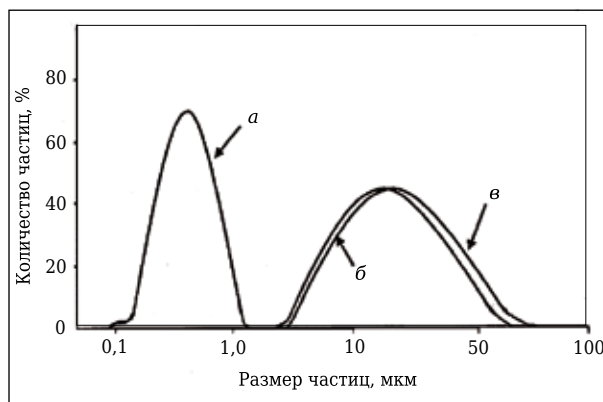


Рис. 4. Кривые распределения размеров частиц в зависимости от применяемых окислителей. Составы а–в указаны на кривых

ния располагаются в области крупных фракций от 5 до 35–40 мкм в количестве ~ 40 %, а также в диапазоне 50–54 мкм в количестве ~ 6,5 %. Такое смещение кривой распределения размеров частиц связано с образованием в ходе горения частиц большего размера, соответствующих агломератам. Это обуславливает меньшие размеры кристаллов и менее развитую удельную поверхность полученных порошков (см. табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано развитие кристаллической фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, изменение размеров кристаллов, степени кристаллизации корундовой фазы, микроструктуры, удельной поверхности порошков и распределения размеров частиц в порошках, полученных с использованием порошка алюминия и различных окислителей.

Развитие более узких и кристаллических дифракционных максимумов фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ наблюдается в порошке, полученном с использованием нитрата калия. Более широкие дифракционные максимумы фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ присутствуют в порошках, полученных при горении порошка алюминия в присутствии хлората и перхлората калия.

Библиографический список

1. **Горшков, В. С.** Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений / В. С. Горшков, В. Г. Совельев. — М.: Высшая школа, 1988. — С. 328–331.
2. **Merzhanov, A. G.** History and recent developments in SHS / A. G. Merzhanov // *Ceram. Intern.* — 1995. — Vol. 21, № 5. — P. 371–379.
3. **Halmann, M.** Carbothermal reduction of alumina: Thermochemical equilibrium calculations and experimental investigation / M. Halmann, A. Frei, A. Steinfeld // *Energy.* — 2007. — Vol. 32, № 12. — P. 2420–2427.
4. **Aruna, S. T.** Combustion synthesis and nanomaterials / S. T. Aruna, A. S. Mukasyan // *Current opinion in solid state and materials science.* — 2008. — Vol. 12, № 3/4. — P. 44–50.
5. **Пащенко, А. А.** Физическая химия силикатов / А. А. Пащенко. — М.: Высшая школа, 1986. — 368 с.
6. **Yeh, C. L.** Combustion synthesis of vanadium borides / C. L. Yeh, H. J. Wang // *J. All. Comp.* — 2011. — Vol. 509, № 7. — P. 3257–3261.
7. **Yeh, C. L.** Effects of α - and β - Si_3N_4 as precursors on combustion synthesis of $(\alpha + \beta)\text{-SiAlON}$ composites / C. L. Yeh, F. S. Wi, Y. L. Chen // *J. All. Comp.* — 2011. — Vol. 509, № 9. — P. 3985–3990.
8. **Durach, L.** Fe_2O_3 /aluminium thermite reaction intermediate and final products characterization / L. Durach, R. Santos, A. Correia // *J. Comp. Mat. Sci. Eng. A.* — 2007. — Vol. 465, № 1/2. — P. 199–210.
9. **Hassan, H.** Synthesis of titanium carbide by the combustion of $\text{TiO}_2\text{--}2\text{Mg--C}$ and $3\text{TiO}_2\text{--}4\text{Al--}3\text{C}$ systems in a

Увеличение интенсивности и мощности горения порошка алюминия в присутствии окислителей от нитрата калия к перхлорату калия вызывает уменьшение роста кристаллов и степени кристаллизации фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в порошках.

Микроструктура порошков, полученных в ходе горения порошка алюминия в присутствии мощных окислителей, характеризуется наличием плотносспекшихся частиц, формирующих мягкие и твердые агломераты, по сравнению с микроструктурой порошка, полученного в ходе горения порошка алюминия в присутствии нитрата калия. Порошки, полученные с использованием мощных окислителей, имеют менее развитую удельную поверхность. На практике формирование таких порошков сопровождается образованием яркого и мощного пламени в ходе горения с получением оплавленных и сплавленных частиц Al_2O_3 . Менее интенсивное горение порошка алюминия в присутствии нитрата калия формирует крошащийся порошок.

Порошки, полученные при более интенсивном горении (в присутствии хлората и перхлората калия), характеризуются широким диапазоном распределения размеров частиц, смещенным в область их больших фракций по сравнению с порошком, полученным при горении с добавкой нитрата калия, что влияет на процесс агломерации в ходе горения.

- tubular furnace / H. Hassan, S. A. Mehdi, E. Mehri // *Iran J. Chem. Eng.* — 2009. — Vol. 28, № 1. — P. 71–76.
10. **Patil, K. C.** Combustion synthesis: an update / K. C. Patil, S. T. Aruna, T. Mimani // *Current opinion in solid state and materials science.* — 2002. — Vol. 6, № 6. — P. 507–512.
11. **Pourmartazavi, S. M.** Characterization of the aluminium/potassium chlorate mixtures by simultaneous TG-DTA / S. M. Pourmartazavi, S. S. Hajimirsadeghi, S. G. Hosseini // *J. thermal analysis and calorimetry.* — 2006. — Vol. 84, № 3. — P. 557–561.
12. **Pivkina, A. N.** Nanosized components of energetic systems: structure, thermal behaviour, and combustion / A. N. Pivkina, Yu. V. Frolov, D. A. Ivanov // *Combustion, Explosion, and Shock waves.* — 2007. — Vol. 43, № 1. — P. 51–55.
13. **Arkhipov, V.** Effect of ultrafine aluminium on the combustion of composite solid propellants at subatmospheric pressures / V. Arkhipov, M. Gorbenko, T. Gorbenko [et al.] // *Combustion, Explosion, and Shock waves.* — 2009. — Vol. 45, № 1. — P. 40–47.
14. **Preizan, E. L.** Metal-based reactive nanomaterials / E. L. Preizan // *Progress in energy and combustion science.* — 2009. — Vol. 35, № 2. — P. 141–167.
15. **Zhuravlev, V. D.** Solution combustion synthesis of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ using urea / V. D. Zhuravlev, V. G. Bamburov, A. R. Beketov [et al.] // *Ceram. Intern.* — 2013. — Vol. 39, № 2. — P. 1379–1384. ■

Получено 26.09.13
© А. В. Хмельев, 2013 г.

¹ Лаборатория нанофотонных функциональных материалов и устройств, Нормальный университет Южного Китая (South China Normal University), Гуанчжоу, Китай

² Институт ювелирных изделий при Политехническом институте Гуанчжоу Пянью, Гуанчжоу, Китай

УДК 666.192:671.1(510)

ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТХОДОВ ИЗ ПЛАВЛЕННОЙ КВАРЦЕВОЙ КЕРАМИКИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЮВЕЛИРНЫХ ОТЛИВОК

Кристаллит SiO_2 можно получать из отходов плавленной кварцевой керамики с заводов по производству поликристаллического кремния, где в ходе процесса по получению поликристаллических слитков происходит превращение плавленного кремнезема в кристаллит. Порошок кристаллита высокой степени чистоты получают путем измельчения этих отходов. Проведено исследование температурного коэффициента линейного расширения форм из кристаллита на гипсовой связке для производства ювелирных изделий. Обнаружено, что тепловое расширение при переходе в фазу кристаллита может эффективно компенсировать усадку гипса при температурах в диапазоне от 200 до 400 °С. Эксперименты по отливке изделий из медного сплава показали, что с помощью кристаллита можно улучшить тепловые характеристики форм для отливки ювелирных изделий.

Ключевые слова: кристаллит, тепловое расширение, форма для производства ювелирных изделий.

Высокотемпературная фаза кремнезема стабильна при температуре от 1470 до точки плавления 1728 °С. Она известна под названием β -кристаллит. Фаза остается метастойчивой до 275 °С и превращается в низкотемпературную фазу — α -кристаллит [1]. На предприятиях по производству поликристаллического кремния используется большое количество тиглей из плавленной кварцевой керамики. Они служат контейнерами для проведения технологических операций при высокой температуре. Когда температура снижается, в стенках тигля образуются трещины в результате перехода в фазу β/α -кристаллита [2]. Таким образом, эта керамика становится одним из видов твердых отходов [3]. Мировое потребление тиглей из плавленной кварцевой керамики значительно, поэтому вопрос их переработки и вторичного использования — важная актуальная проблема.

Порошок кристаллита играет важную роль в достижении точных размеров и нужного уровня шероховатости поверхности прецизионных отливок [4]. Традиционные формы для прецизионных отливок изготавливаются из гранул SiO_2 , полученных с использованием связующего, обычно CaSO_4 [5]. Дефекты на отливках могут быть вызваны усадкой форм, происходящей при тепловом разрушении гипса. Тепловое расширение при фазовом переходе кристаллита может эффективно компенсировать усадку гипса [6], благодаря чему можно улучшить термостойкость и механическую прочность форм и предотвратить, таким образом, появление в них трещин [7].

Традиционные кристаллитовые материалы изготавливают путем кальцинации отборных зерен обработанного кварца при высокой температуре [8]. При этом потребляется много энергии и кварцевого минерально-

го сырья. В результате исследования методов вторичной переработки отходов из плавленной кварцевой керамики нами была разработана новая технология применения таких отходов при прецизионных отливках для ювелирной промышленности. В данной работе рассматривается тепловое расширение твердых отходов и других материалов для форм, предназначенных для прецизионных отливок. Проведена отливка в форму медного сплава и оценено качество конечной продукции.

ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Порошок кристаллита был получен путем измельчения отходов из плавленной кварцевой керамики (Jiangxi LDK Solar Hi-Tech Co. Ltd). Фазу плавленной кварцевой керамики изучали при комнатной температуре с помощью рентгеновского дифрактометра марки X'Pert PRO, оборудованного медным источником K_α -излучения ($\lambda = 0,15406$ нм), угол дифракции от 10 до 50° при скорости сканирования 0,02 град/с. Концентрацию основных элементов примесей в отходах определяли с помощью масс-спектрометра с индуцируемой плазмой (марка спектрометра PerkinElmer Elan 6000). Отходы плавленной кварцевой керамики исследованы методом дифференциального термического анализа (ДТА). При этом использовали прибор марки HCR-1 фирмы «Beijing Hengjiu». Анализ проводился в воздушной атмосфере при температуре от 50 до 500 °С. Скорость нагрева 10 °С/мин. Тепловое расширение отходов плавленной кварцевой керамики и форм тестировали при скорости нагрева 7 °С/мин в температурном диапазоне от 50 до 700 °С с помощью прибора марки ZRPY-1400 фирмы «Hunan Xiangtan instrument Co., Ltd».

Формы для прецизионной отливки ювелирных изделий были изготовлены из смесей, состав которых приведен в таблице. Для оценки возможности образования трещин схватившиеся формы были обожжены в соответствии с инструкциями производителя в течение 5 ч при скорости нагрева 2 °С/мин до 730 °С. По истечении 5 ч формы вынимали из печи и исследовали на предмет появления трещин.

Для проведения экспериментов с отливками был взят медный сплав. Циклы депарафинизации и выжигания в печи осуществляли в соответствии с инструкциями производителя. В конце эксперимента медный сплав заливали в формы, затем исследовали дефекты отливок.

Состав форм, взятых в качестве образцов

Образец из смеси	Состав, мас. %		
	гипс	кристобалит*	кварц
W ₁	100	0	0
W ₂	30	0	70
W ₃	30	35	35

* Кристобалит получен из отходов плавленной кварцевой керамики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика керамических отходов

Во время производства слитков поликристаллического кремния тигель из плавленной кварцевой керамики подвергается воздействию высоких температур в течение продолжительного времени. При этом образуется кристобалит. На рис. 1 представлены графики, полученные на рентгеновском дифрактометре (XRD) при исследовании порошка, изготовленного путем измельчения отходов плавленной кварцевой керамики. Видно, что порошок состоит из кристобалита. Никаких других фаз в порошке не обнаружено.

Содержание основных примесей в отходах из плавленной кварцевой керамики следующее, мас. %: Al₂O₃ 0,09, NiO <0,01, Na₂O <0,01, MgO <0,01, TiO₂ <0,01, CaO 0,02, MgO <0,01, K₂O <0,01, Fe₂O₃ 0,02. Было замечено, что общее количество основных примесей не превышает 0,2 мас. %. Это означает, что отходы тиглей из плавленной кварцевой керамики состоят из кристобалита высокой степени чистоты.

На кривой дифференциального термического анализа (ДТА) наблюдается резкий эндотермический пик в районе 260 °С (рис. 2), что объясняется переходом в фазу β/α-кристобалита. На графике теплового расширения

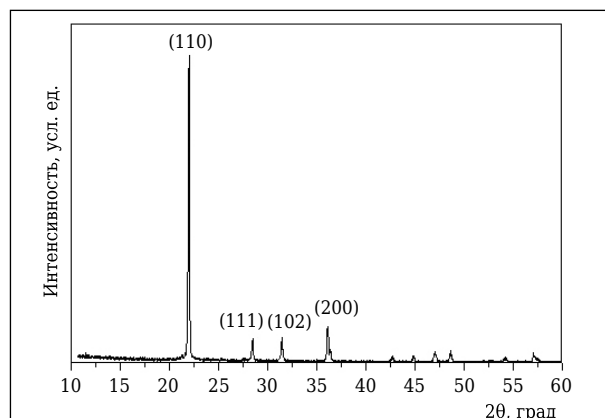


Рис. 1. Дифрактограмма отходов плавленной кварцевой керамики

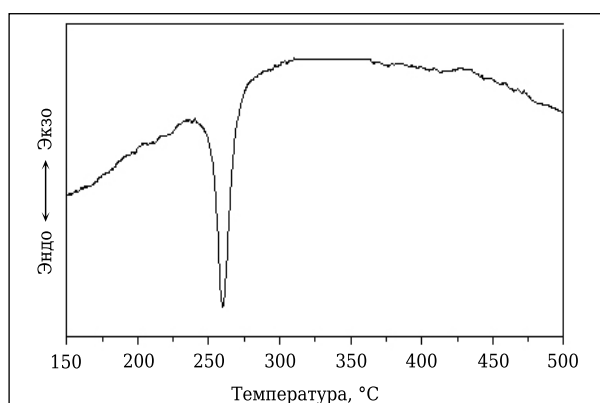


Рис. 2. Кривая ДТА отходов плавленной кварцевой керамики

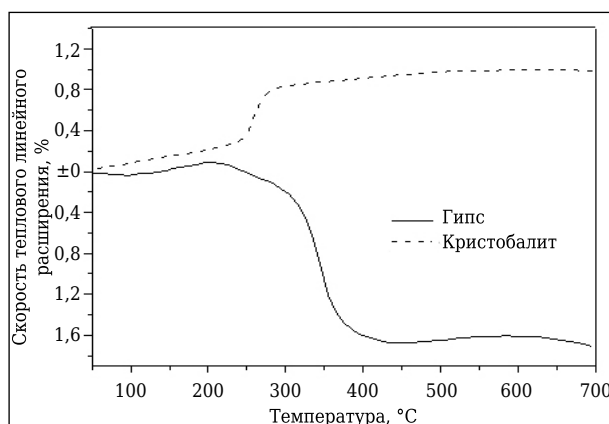


Рис. 3. Тепловое расширение кристобалита и гипса (материал W₁)

отходов плавленной кварцевой керамики (рис. 3) видно, что явное расширение начинается при 260 °С, что подтверждает результаты ДТА.

Применение керамических отходов при отливке ювелирных изделий

Традиционные формы для производства ювелирных отливок изготавливают из SiO₂-огнеупоров, агломерированных гипсовой связкой [9]. При нагреве формы происходит сильная усадка гипсовой связки, и вода кристаллизации улетучивается [10]. На рис. 3 показана максимальная усадка гипса, которая достигает -1,6 % при 450 °С.

Во время высокотемпературной отливки металла ввиду слабой теплопроводности гипса в форме образуются проникающие трещины вдоль направления температурного градиента. Серьезные трещины могут привести к разрушению формы и к нарушению процесса отливки. Следовательно, стойкость к образованию термических трещин является одной из самых важных свойств форм. Огнеупорный материал используется для компенсации усадки гипса и для регулирования температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) формы [11]. Образец W₂ состоит из 30 % гипса и 70 % кварца. ТКЛР образца W₂ возрастает в результате увеличения объема, вызванного фазовой трансформацией кварца при повышении температуры, однако ТКЛР неожиданно снижается в диапазоне 300–400 °С (рис. 4). С другой стороны, ТКЛР образца W₃ демонстрирует значительное

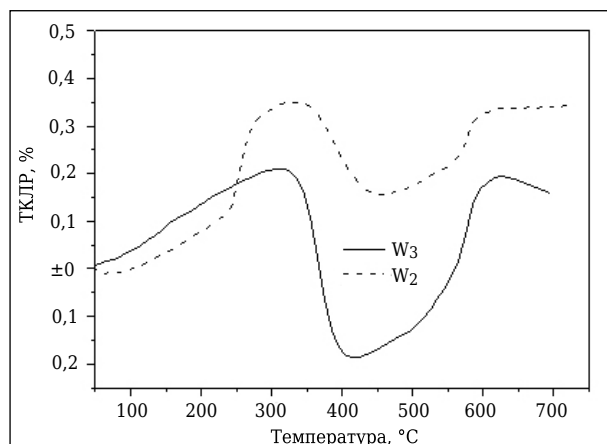


Рис. 4. Температурный коэффициент линейного расширения образцов форм W₂ и W₃

расширение при 280 °С, что объясняется трансформацией кристобалитовой фазы. Изменение теплового расширения образца W₃ более ровное, чем образца W₂.

На рис. 5 представлены фотографии образцов форм W₂ и W₃, вынутых из печи. Видно, что на поверхности образца W₂ образовалось много трещин, а на образце W₃ трещин нет.

Для проведения экспериментов с отливками использовали образцы W₂ и W₃. На рис. 6 показано образование заусенцев на отливках, сделанных в форме W₂. Заусенцы образовались в результате затекания расплавленной меди в трещины в форме. В отливках, сделанных с помощью формы W₃, заусенцев нет. По сравнению с отливками, сделанными в форме W₂, отливки, полученные в форме W₃, демонстрируют лучшее качество: их поверхность гладкая, без явных недостатков. Совершенно очевидно, что качество отливок можно улучшить при использовании порошка кристобалита в производстве форм для получения отливок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Порошок кристобалита высокой степени чистоты можно получить из отходов плавяной кварцевой керамики, име-

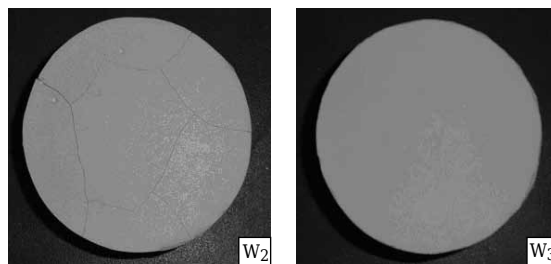


Рис. 5. Образование термических трещин на образцах форм W₂ и W₃

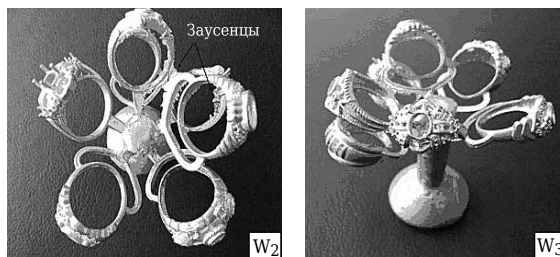


Рис. 6. Дефекты отливок из медного сплава, полученных в формах W₂ и W₃

ющихся на предприятиях по производству поликристаллического кремния. Тепловое расширение кристобалита может компенсировать усадку гипса в температурном диапазоне от 200 до 400 °С. Результаты экспериментов с отливками показали, что подобные отходы можно подвергать вторичной переработке и использовать для производства форм для прецизионных отливок.

* * *

Работа, представленная в данном докладе, была проведена при поддержке Главной лаборатории по переработке твердых отходов Юго-Восточного университета науки и технологии Министерства образования Китая и при содействии Департамента образования провинции Гуанчжоу (10B002).

Библиографический список

1. **Stevens, S.** Polymorphism of silica / S. Stevens, R. Hand, J. Sharp // J. Mater. Sci. — 1997. — № 32. — P. 2929–2935.
2. **Dorian, M.** The phase transition in cristobalite / M. Dorian, G. Subrata // Phys. Chem. Minerals. — 1991. — № 17. — P. 554–562.
3. **Mohammed, M.** Thermo-mechanical analysis of the ingot-crucible contact during multicrystalline silicon ingot casting / M. Mohammed, G. Sylvain, G. Hallvard // J. Cryst. Growth. — 2011. — № 318. — P. 269–274.
4. **Kim, Y.** Effect of cristobalite and quartz on the properties of gypsum bonded investment / Y. Kim, S. Kim, H. Park [et al.] // J. Mater. Sci. Technol. — 2008. — № 24. — P. 143–144.
5. **Patrizio, S.** Advances in jewellery microcasting / S. Patrizio, M. Giampiero, M. Gabriel [et al.] // Thermochimica Acta. — 2004. — № 419. — P. 195–204.
6. **Wakasa, K.** Silica investment prepared for dental purposes: effect of cristobalite content on mechanical properties / K. Wakasa, A. Ikeda, Y. Yoshida [et al.] // J. of Mater. Sci. Lett. — 1993. — № 12. — P. 1908–1910.

7. **Kono, A.** Heating rate of a gypsum investment related to crack formation / A. Kono, H. Losoda, T. Fusayama // J. Dent. Res. — 1966. — № 45. — P. 1419–1420.
8. **Shovaf, S.** The quartz-cristobalite transformation in heated chert Rrck composed of micro and crypto-quartz by micro-raman and FT-IR spectroscopy methods / S. Shovaf, B. Champagnon, G. Panczer // J. Therm. Analys. — 1997. — № 50. — P. 203–213.
9. **Mori, T.** Study of gypsum-bonded casting investments / T. Mori // Aust. Dent. J. — 1993. — № 38. — P. 220–224.
10. **Aghajani, F.** Gypsum-bonded investment and dental precision casting (IV) transformation of III-CaSO₄ to II-CaSO₄ / F. Aghajani, Z. Hasratiningsih, T. Mori // Dent. Mater. J. — 2004. — № 23. — P. 373–378.
11. **Wereszczak, A.** Dimensional changes and creep of silica core ceramics used in investment casting of superalloys / A. Wereszczak, K. Breder, M. Ferber // J. Mater. Sci. — 2002. — № 37. — P. 4235–4245. ■

Получено 25.09.13

© Ю. Х. Чжоу, К. Шэнь, Ц. Цзэн, 2013 г.
© Пер. С. Н. Клявлиной (ОАО «Комбинат «Магнезит»), 2013 г.

В. А. Дьяконов¹, д. т. н. Е. С. Лукин², к. т. н. Н. В. Нефедова¹,
к. т. н. Б. Ф. Пронин¹, Е. Н. Филатов¹

¹ ОАО «Композит», г. Королёв Московской обл., Россия

² ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева»,
Москва, Россия

УДК 661.682:66.021.4

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КЛАССА «ОКСИД – ОКСИД»

Представлены результаты разработки и исследования радиотехнических теплозащитных композиционных материалов. Показаны основные свойства композиционных материалов класса $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ и исследованы прочностные и теплофизические свойства во всем интервале рабочих температур. Представлены результаты исследований повышения температуростойкости материалов класса $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$. Показано влияние тугоплавких оксидов ZrO_2 и Cr_2O_3 , введенных в структуру материала с помощью водорастворимых прекурсоров, на кратковременную температуростойкость. Проведены сравнительные испытания исходных и модифицированных материалов при нагреве в высокотемпературном газовом пламени и произведена оценка полученных результатов.

Ключевые слова: теплозащитные материалы, интенсивный нагрев, диэлектрические свойства, радиотехнические материалы.

Для теплозащиты радиотехнических средств от нагрева применяются радиотехнические теплозащитные материалы (РТЗМ). В настоящее время широко применение нашли как керамические, так и композиционные радиотехнические теплозащитные материалы на основе кремнийорганических смол, фосфатных связующих и кремнезольей.

Проведенные исследования показали, что наиболее высокие радиотехнические и теплозащитные характеристики сочетают в себе композиционные материалы класса $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$, полученные многократной пропиткой тканого кварцевого наполнителя кремнезолью с последующей сушкой и термообработкой. Материалы класса $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ отличаются термостойкостью и высокими, стабильными в широком диапазоне температур диэлектрическими характеристиками. Кроме того, эти материалы по сравнению с кварцевой керамикой имеют более высокие значения ударной вязкости и, соответственно, трещиностойкости, особенно в условиях теплового удара. Основные характеристики материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ одной из разработанных марок [1] приведены ниже:

Максимальная температура эксплуатации (без оплавления), °С.....	1400
Кажущаяся плотность, кг/м ³	1500–1650
Открытая пористость, %.....	20–25
Предел прочности при изгибе, МПа:	
по основе.....	38–41
по утку.....	70–75
Диэлектрическая проницаемость при частоте 1 МГц при 20 °С.....	≤3,0
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц при 20 °С.....	≤0,005

Наиболее важное свойство радиотехнических материалов — диэлектрические характеристики. Современным требованием, предъявляемым к диэлектрической проницаемости материала, является высокая стабильность показателя при изменении температур от 20 °С до максимальной рабочей температуры. Кроме того, к данному классу материалов предъявляются требования по механическим свойствам при высоких температурах. На рис. 1 представлены зависимости прочностных характеристик материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ от температуры.

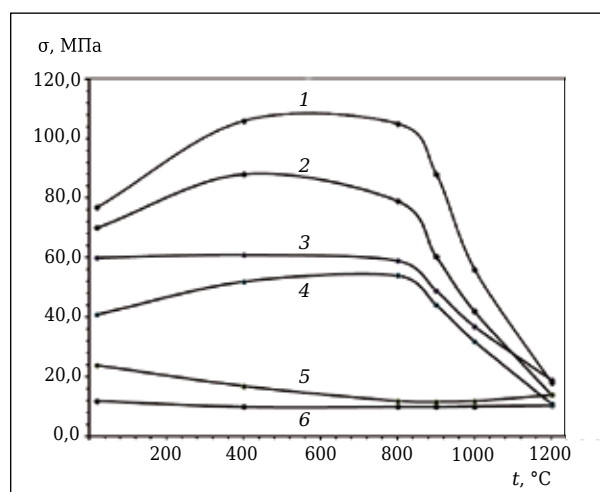


Рис. 1. Зависимость прочностных свойств материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ от температуры t : 1 — предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ по утку; 2 — предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ по утку; 3 — $\sigma_{сж}$ по основе; 4 — $\sigma_{изг}$ по основе; 5 — предел прочности при растяжении $\sigma_{рст}$ по утку; 6 — $\sigma_{рст}$ по основе

Для обеспечения тепловой защиты радиоаппаратуры данные материалы должны обладать минимальной теплопроводностью λ и максимальной теплоемкостью C_p . На рис. 2 представлены зависимости теплофизических характеристик материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ от температуры.

Дальнейшее повышение температуростойкости данного материала может быть связано с модифицированием матриц или границы раздела волокно – матрица тугоплавкими оксидами, например ZrO_2 и Cr_2O_3 . В качестве модификаторов были опробованы растворимые соли Cr и Zr. Из справочных данных [2] известно, что температуры плавления оксида хрома и циркония составляют 2265 и 2715 °C соответственно. Введение этих модифицирующих оксидов в материал должно препятствовать плавлению и спеканию образца, а следовательно, и сохранять прочность материала. Для наглядного сравнения вклада модифицирующих добавок в температуростойкость материала изготовили образцы с разным содержанием тугоплавких оксидов.

Для проведения модификации материала были взяты заготовки одинаковой геометрической формы, проведено определение их массы и плотности. После этого образцы разделили на партии и загрузили в автоклав. Перед началом пропитки было проведено вакуумирование заготовок с целью освобождения каналов и пор для поступления жидкости. После выдержки под вакуумом в камеру поступал пропитывающий раствор. После заполнения камеры пропитывающим раствором остаточное давление выравнивалось с атмосферным и поднималось до определенной величины. Затем образцы выдерживали в этих условиях в течение установленного времени, после чего давление стравливали, образцы извлекали из автоклава и подвергали сушке и термообработке. После многократных пропиток в каждой партии были отобраны 9 образцов с разным содержанием модифицирующих оксидов.

Образцы с разным содержанием модифицирующих добавок оксидов хрома и циркония были испытаны на стойкость к высоким температурам и термическому удару при быстром нагреве в пламени газовой горелки.

Перед началом сравнительного испытания образцов пропан-кислородное пламя регулировали до появления стабильного высокотемпературного (~2500 °C) окислительного пламени. Затем поочередно, в случайном порядке, образцы помещали в зажим штатива, закрепленный на фиксированном расстоянии от сопла горелки, и выдерживали в пламени в течение 5 мин. После этого испытанный образец извлекали из зажима и на его место помещали следующий. Образцы испытывали в максимально равных условиях: пламя, время испытания, расход газа и расстояние от сопла горелки до поверхности материала сохраняли неизменными (рис. 3).

На рис. 4 представлены модифицированные образцы и образцы сравнения, прошедшие испытание

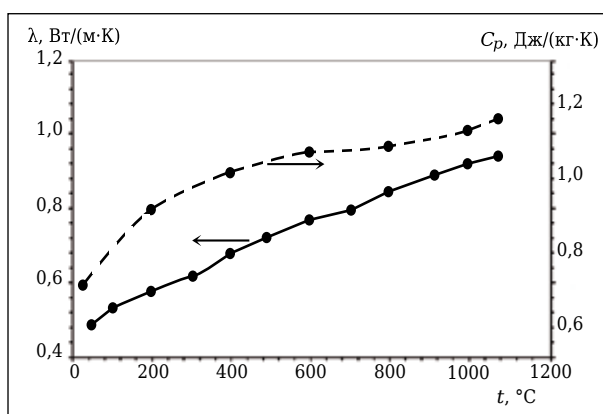


Рис. 2. Зависимость величины теплопроводности λ и теплоемкости C_p материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ от температуры t

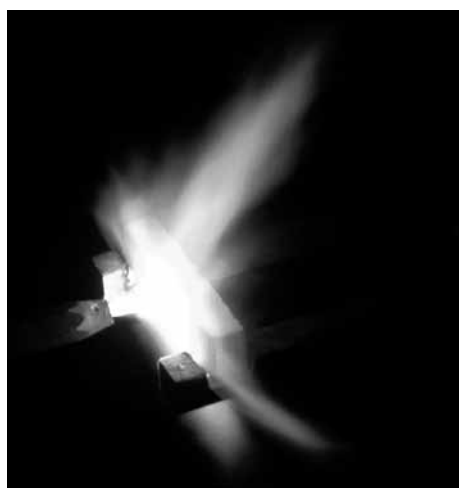


Рис. 3. Проведение предварительных оценочных испытаний модифицированного материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$

на обжиг в высокотемпературном пламени, видны полученные деформации. По фотографиям на рис. 4 и данным таблицы видно, что содержание модификатора влияет на глубину проплавления материала.

По результатам проведенных исследований и предварительных испытаний установлено, что модификация материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ путем пропитки

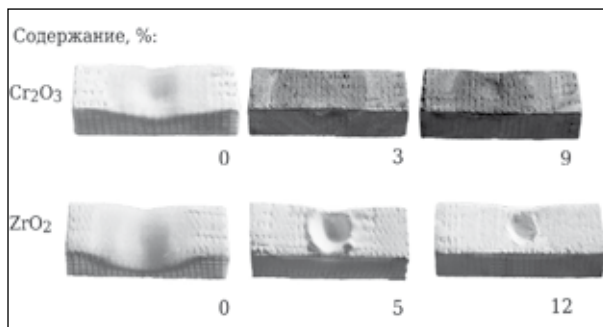


Рис. 4. Модифицированные образцы и образцы сравнения, прошедшие испытание на обжиг в высокотемпературном пламени

растворами соединений хрома и циркония с последующей термообработкой для перехода их в тугоплавкие оксиды позволяет повысить температуростойкость материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ на 25 %.

В дальнейшей работе планируется продолжить исследования и поиск наиболее эффективных и технологичных режимов нанесения модификаторов, провести исследование прочностных, теплофизических и диэлектрических свойств получаемых материалов.

Библиографический список

1. Пат. 2210555 РФ Способ получения радиотехнического материала / Камалов А. Д., Пронин Б. Ф., Арсланова Н. И., Цыруль Н. П., Волик Н. И., Ступакова Н. П., Тазитдинова Н. В., Янковская Т. В.; заявл. 10.03.03; опубл. 20.08.03.
2. **Торопов, Н. А.** Диаграммы состояния силикатных систем : справочник. Вып. 1. Двойные системы / Н. А.

Сравнительная температуростойкость модифицированных образцов материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$

Оксид	Содержание оксида, %	Глубина кратера, мм
Хрома	0	3,2
	3	0,4
	9	1,1
Циркония	0	3,4
	5	2,0
	12	1,3

Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин [и др.]. — Л. : Наука, Ленингр. отд., 1969. — 822 с. ■

Получено 19.11.13

© В. А. Дьяконов, Е. С. Лукин, Н. В. Нефедова, Б. Ф. Пронин, Е. Н. Филатов, 2013 г.

Д. т. н. **В. В. Кузин**, д. т. н. **С. Н. Григорьев**, **В. Н. Ермолин**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «Станкин», Москва, Россия

УДК 666.3:536.49

НЕОДНОРОДНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КЕРАМИКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ. ЧАСТЬ 2. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ*

Приведены результаты комплексного изучения неоднородности напряжений в поверхностном слое керамики на основе диоксида циркония под действием теплового нагружения. Выявлена высокая неоднородность напряжений в структурных элементах керамики. Отмечена необходимость учета неоднородности напряжений при описании механизма износа и разрушения, а также при проектировании изделий из этой керамики для заданных условий эксплуатации.

Ключевые слова: керамика, неоднородность, напряженно-деформированное состояние, поверхностный слой, моделирование, диоксид циркония, проектирование.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация теплового режима эксплуатации современных машин и повышение требований к их надежности обуславливает специальные требования к свойствам структурно-неоднородных материалов, из которых изготавливают наиболее нагруженные детали. Эти требования реализуются в основном за счет оптимизации комплекса свойств материалов, обеспечивающего их повышенную сопротивляемость деформированию и разрушению под действием тепловой нагрузки [1, 2]. Несмотря на очевидный прогресс в реализации такого подхода, вероятность внезапных разрушений высокотемпературных элементов машин остается достаточно

высокой [3], что существенно ограничивает перспективу эффективного применения новых материалов, в том числе керамических [4, 5].

В основе этой проблемы находится недостаточная изученность природы формирования термических напряжений, оказывающих существенное влияние на поведение керамических материалов под действием тепловой нагрузки. Наиболее исследованной оказалась взаимосвязь формы и размеров детали, свойств материала, теплового режима и условий теплопередачи с термическими напряжениями I рода [6, 7]. Влиянию разных факторов на термические напряжения II рода, образующиеся в структурных элементах неоднородных материалов и на их границах, уделялось не такое пристальное внимание. Объяснить этот факт можно повышенной сложностью задачи из-за необходимости:

* Часть 1 статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 10 за 2013 г.

– учета структуры неоднородных материалов, которая формируется ее элементами, имеющими разные формы, размеры и свойства;

– рационального выбора модели, при использовании которой можно учесть основные структурные особенности материала;

– разработки специальной методики расчета напряжений в структурных элементах неоднородных материалов [8, 9].

Восполнить существующий пробел в знаниях позволила методика исследования неоднородности напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки, с применением которой изучено влияние сложного механического нагружения [10]. В настоящей работе поставлена цель — оценить неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики из диоксида циркония в результате теплового нагружения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение сформулированной задачи базировалось на численном моделировании деформационных процессов с использованием комплекса моделей [11, 12]. Методика выполнения экспериментов подробно описана в первой части этой работы [10]. Поэтому здесь отметим только наиболее важные положения методики.

Расчетная схема представлена в виде конструкции, состоящей из фрагментов деталей Д1 и Д2, выполненных из керамики и меди соответственно (рис. 1). Фрагмент детали Д1 состоит из трех зерен Z1, Z2 и Z3 эллипсной формы, которые заделаны в матрицу через межзеренную фазу. На внешней стороне зерен, межзеренной фазы и матрицы расположен фрагмент детали Д2. Зерна и матрица детали Д1 выполнены из диоксида циркония ZrO_2 плотностью $\rho = 5,68 \text{ г/см}^3$ с модулем упругости $E = 180 \text{ ГПа}$ и коэффициентом Пуассона $\mu = 0,2$; межзеренная фаза — из оксида магния MgO плотностью $3,4 \text{ г/см}^3$ с $E = 315 \text{ ГПа}$ и $\mu = 0,18$; деталь Д2 — из меди Cu плотностью $8,9 \text{ г/см}^3$ с $E = 110 \text{ ГПа}$ и $\mu = 0,37$. К свободной поверхности фрагмента детали Д2 прикладывали тепловые потоки Q_1, Q_2, Q_3 и Q_4 , определенное сочетание которых считали комплексом. Каждый комплекс тепловых потоков характеризуется их фиксированными значениями (табл. 1). Эта «нагруженная» конструкция называется «керамика системы ZrO_2 — MgO — ZrO_2 — Cu ».

Для анализа результатов численных экспериментов использовали контрольные точки (КТ), расположенные в поверхностных слоях зерен Z1 (КТ1 – КТ25), Z2 (КТ26 – КТ51), Z3 (КТ52 – КТ76) и межзеренной фазы, примыкающих к зернам (КТ77 – КТ137)

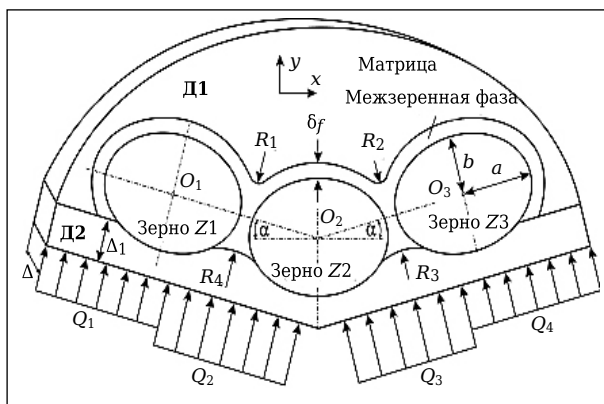


Рис. 1. Расчетная схема

и к матрице (КТ138 – КТ182), а также поверхностном слое матрицы, примыкающем к межзеренной фазе (КТ183 – КТ221) [5]. Расчет интенсивности напряжений в каждой КТ конструкции выполняли в два этапа: первоначально определяли температуры, создаваемые под действием тепловой нагрузки, и затем с использованием этих температур рассчитывали интенсивность напряжений. Коэффициент неоднородности напряжений $K_\Delta = \sigma_{i \max} / \sigma_{i \min}$ (σ_i — интенсивность напряжения) определяли на всех выделенных поверхностях структурных элементов керамики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пример графического отображения полей температур и интенсивности напряжений в поверхностном слое керамики системы ZrO_2 — MgO — ZrO_2 — Cu под действием комплекса № 1 тепловых потоков (см. табл. 1) представлен на рис. 2, а, б. Качественная оценка результатов численного эксперимента показывает, что под действием четырех тепловых потоков формируется практически симметричное (относительно малой оси центрального зерна Z2) температурное поле простой формы. Температурный режим поверхностного слоя керамики изменяется в диапазоне от 21 до 634 °С, температура заметно понижается с увеличением расстояния от поверхности, к которой приложены тепловые потоки. Наибольшие температуры формируются на внешней поверхности центрального зерна Z2 (КТ26 и КТ49 – КТ51), контактирующей с фрагментом детали Д2.

Неравномерное температурное поле и различие в свойствах структурных элементов керамики и меди определяют сложность напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя керамики системы ZrO_2 — MgO — ZrO_2 — Cu под действием тепловой нагрузки. В структурных элементах керамики σ_i изменяется от 242 до 2426 МПа. Наибольшие напряжения возникают в слое межзеренной фазы (КТ99 и КТ115), охватывающей центральное зерно Z2; в слое межзеренной фазы (КТ139 и КТ181) между матрицей и зернами Z1 и Z3; в слое матрицы (КТ139 и КТ181). Эти локальные области находятся в непосредственной близости от поверхности керамики или контактируют с поверхностью фрагмента

Таблица 1. Сочетание тепловых потоков в комплексах, Вт/м²

Тепловой поток (нагрузка)	Номер комплекса тепловых потоков	
	1	2
$Q_1 = Q_4$	$2 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$
$Q_2 = Q_3$	$4 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^8$

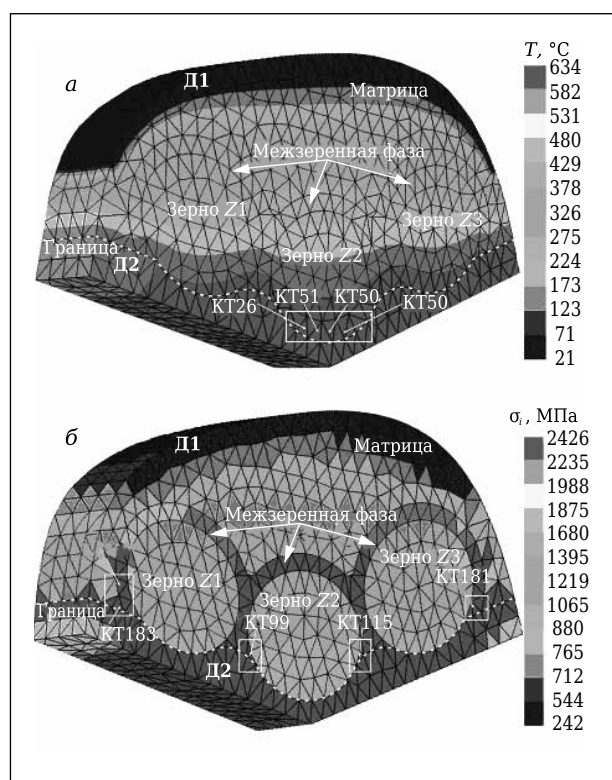


Рис. 2. Поля температур (а) и интенсивности напряжений (б) в керамике системы $\text{ZrO}_2\text{—MgO—ZrO}_2\text{—Cu}$ под действием комплекса № 1 тепловых потоков

детали Д2. В зернах и матрице формируются напряжения с существенно меньшими значениями.

Влияние тепловой нагрузки на напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя трех зерен в керамике системы $\text{ZrO}_2\text{—MgO—ZrO}_2\text{—Cu}$ показано на рис. 3. Видно, что напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя керамики весьма неоднородно, причем в зернах Z1 и Z3 (КТ7 и КТ70) зафиксировано образование ярко выраженных концентраторов напряжений. Последовательно проанализируем результаты численных экспериментов в отношении этих структурных элементов керамики, находящейся под действием тепловой нагрузки.

Характер изменения интенсивности напряжений в поверхностном слое зерна Z1 под действием тепловой нагрузки показан на рис. 3, а. Установлено, что увеличение тепловых потоков приводит к повышению интенсивности напряжений σ_i во всех КТ поверхностного слоя зерна Z1. Например, под действием комплекса № 1 тепловых потоков диапазон изменения σ_i составляет 706–1209 МПа, а под действием комплекса № 2 этот показатель находится в диапазоне 940–1613 МПа. Наибольшая интенсивность напряжений зафиксирована в КТ7. Напряженное состояние поверхностного слоя зерна Z1 характеризуется коэффициентом неоднородности $K_{\Delta Z1} = 1,7$.

Характер изменения локальных напряжений в поверхностном слое зерна Z2 в керамике системы $\text{ZrO}_2\text{—MgO—ZrO}_2\text{—Cu}$ под действием тепловой на-

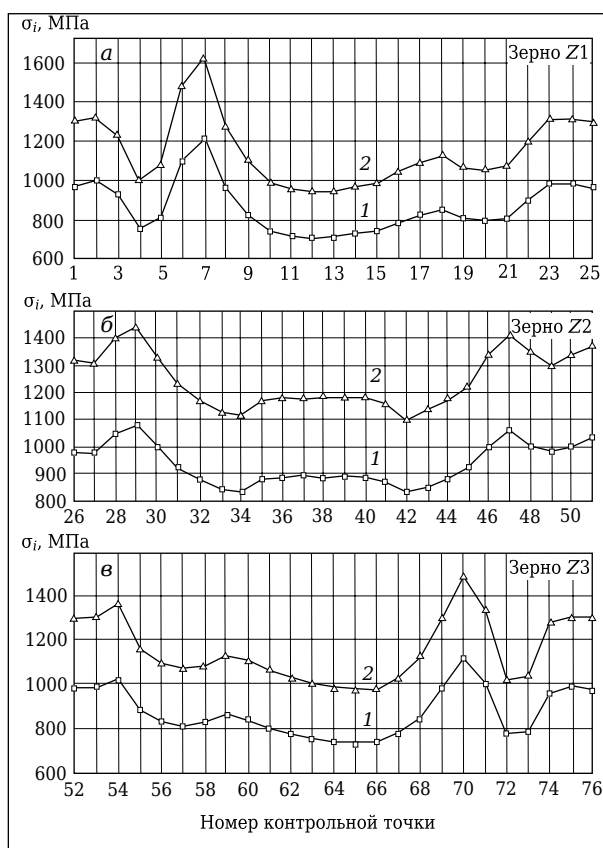


Рис. 3. Влияние тепловой нагрузки на интенсивность напряжений σ_i в КТ поверхностного слоя зерен Z1 (а), Z2 (б) и Z3 (в) в керамике системы $\text{ZrO}_2\text{—MgO—ZrO}_2\text{—Cu}$. Номера комплексов тепловых потоков указаны на кривых

грузки имеет симметрию относительно его малой оси (рис. 3, б). Наибольшие значения σ_i зафиксированы в КТ29 и КТ47, которые одновременно контактируют с межзеренной фазой и фрагментом детали Д2. Под действием комплекса тепловых потоков № 1 формируются напряжения, интенсивность которых изменяется в диапазоне 828–1071 МПа, под действием комплекса № 2 — от 1105 до 1428 МПа. Коэффициент неоднородности образовавшихся в поверхностном слое зерна Z2 напряжений 1,29.

На рис. 3, в показан характер изменения σ_i в поверхностном слое зерна Z3. Видно, что представленные кривые практически зеркально отражают кривые, полученные для зерна Z1, наибольшие напряжения зафиксированы в КТ70. Значения σ_i в поверхностном слое зерна Z3 на 6–8 % меньше по сравнению с напряжениями в зерне Z1. Наибольшая интенсивность напряжений зафиксирована в КТ70. Неоднородность напряжений в поверхностном слое зерна Z3 характеризуется коэффициентом 1,54.

Характер влияния распределенной тепловой нагрузки на напряженно-деформированное состояние слоев межзеренной фазы, примыкающих к зернам и матрице, показан на рис. 4. Видно, что изменение σ_i в этом случае имеет более сложный характер по сравнению с напряженно-деформированным состоянием поверхностных слоев зерен. Наибольшая интенсивность

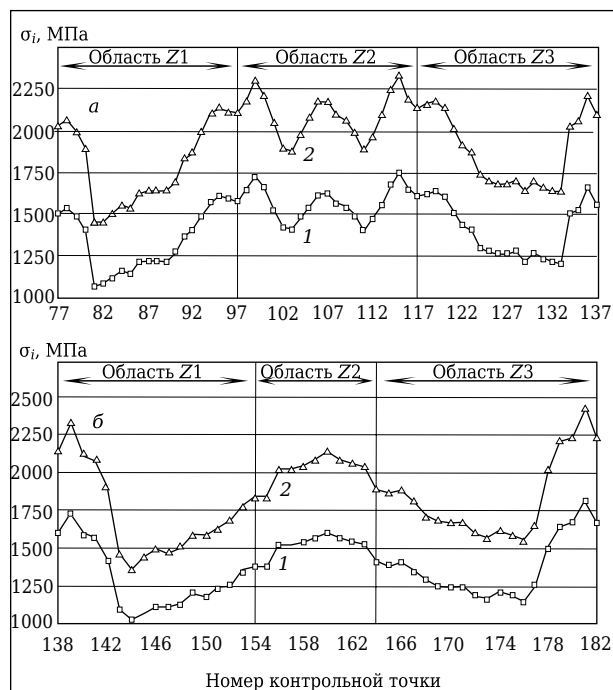


Рис. 4. Влияние тепловой нагрузки на интенсивность напряжений σ_i в КТ поверхностных слоев межзеренной фазы, примыкающих к зернам (а) и матрице (б), в керамике системы $ZrO_2-MgO-ZrO_2-Cu$. Номера комплексов тепловых потоков указаны на кривых

напряжений в слоях межзеренной фазы выявлена в КТ98, КТ115, КТ139 и КТ181, т. е. на границах контакта зерна, межзеренной фазы и фрагмента детали Д2.

Диапазон изменения σ_i в слоях межзеренной фазы, примыкающих как к зернам, так и к матрице, практически одинаков и под действием комплекса № 1 тепловых потоков составляет 1089–1810 МПа, при нагрузке № 2 — $\sigma_i = 1461 \div 2426$ МПа. Средние значения коэффициентов неоднородности напряжений в слоях межзеренной фазы, прилегающих к зернам и матрице, составляют 1,62 и 1,65 соответственно. Столь значительные изменения напряжений в локальных областях поверхностного слоя керамики способны привести к образованию структурных повреждений, их последующему накоплению и соединению. Этот процесс является первым этапом в разрушении керамики [13, 14].

Результаты детального анализа влияния тепловой нагрузки на неоднородность напряжений в разных фрагментах слоев межзеренной фазы приведены в табл. 2. При выполнении этого исследования в каждом слое межзеренной фазы выделили по три фрагмента, каждый из которых охватывает определенное зерно. Рассмотрим полученные результаты.

Установлено, что наибольшие напряжения от воздействия распределенных температурных нагрузок возникают во фрагментах слоев межзеренной фазы, охватывающих зерно Z2. Например, интенсивность напряжений в них на 30 % выше, чем в слоях межзеренной фазы вокруг зерна Z1, и на 15 %, чем в слоях вокруг зерна Z3. При этом наибольшее значение,

равное 1,56, зафиксировано в слое межзеренной фазы, примыкающем к матрице на участке зерна Z1, а наименьшее значение этого коэффициента 1,16 в слое межзеренной фазы, примыкающем к матрице на участке зерна Z2.

Влияние тепловой нагрузки на σ_i в слое матрицы, примыкающем к межзеренной фазе, показано на рис. 5. Установлено, что значения σ_i в этом структурном элементе керамики изменяются от 431 до 2375 МПа под действием комплекса № 1 тепловых потоков, а под действием комплекса № 2 — от 578 до 3172 МПа.

Обращает на себя внимание факт резкого скачка напряжений в крайних (поверхностных) областях этого слоя и достаточно плавными изменениями напряжений в ее центральной части. Например, на периферийных участках (КТ183 и КТ221) слоя значения интенсивности напряжений превышают 2000 МПа, в его центральной части (КТ199 и КТ295) значения интенсивности напряжений менее 1000 МПа. Этим точкам соответствуют конечные элементы, располагающиеся в области примыкания матрицы к поверхности фрагмента детали Д2. Формирование зон высоких локальных напряжений на поверхности керамики с высокой вероятностью приведет к образованию структурных дефектов в виде несплошностей, их последующему накоплению и соединению именно в этих областях керамической детали.

Напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя матрицы характеризуется коэффициентом неоднородности 5,5, что существенно превосходит значения этого параметра для поверхностных слоев зерен и межзеренной фазы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты численных экспериментов, можно отметить, что напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя керамики на основе диоксида циркония под действием тепловой нагрузки характеризуется высокой неоднородностью. Наибольшие локальные напряжения под действием комплекса тепловых потоков формируются на границе контакта структурных компонентов керамики системы $ZrO_2-MgO-ZrO_2-Cu$ с деталью Д2. Установлено, что интенсивность напряжений в слое ма-

Таблица 2. Неоднородность напряжений в разных участках межзеренной фазы под действием комплекса № 1 тепловых потоков

Слой межзеренной фазы	Область зерна	Номер КТ	Диапазон изменения интенсивности напряжений σ_i , МПа	Коэффициент неоднородности K_d
Примыкает к зернам	Z1	77–96	1089–1619	1,48
	Z2	97–116	1416–1764	1,25
	Z3	117–137	1221–1658	1,36
Примыкает к матрице	Z1	138–154	1016–1584	1,56
	Z2	155–164	1377–1604	1,16
	Z3	165–182	1160–1671	1,44

трицы, примыкающем к межзеренной матрице и поверхности фрагмента детали Д2, на 35 % выше, чем в слоях межзеренной фазы, и более чем в 2 раза выше, чем в поверхностных слоях зерен. Коэффициент неоднородности напряжений в поверхностном слое зерен Z1, Z2 и Z3 равен 1,7, 1,29 и 1,54 соответственно. Коэффициент неоднородности напряжений в слоях межзеренной фазы, прилегающих к зернам и матрице, составляет 1,62 и 1,65 соответственно. Напряженное состояние слоя матрицы, примыкающего к межзеренной матрице, характеризуется $K_A = 5,5$.

Результаты выполненных исследований позволяют отметить, что при описании механизма износа и разрушения керамических изделий, а также при их проектировании необходимо учитывать появление напряжений, формирующихся в поверхностном слое под действием тепловой нагрузки высоких локальных напряжений и их неоднородности.

Библиографический список

1. Эванс, А. Г. Конструкционная керамика : пер. с англ. / А. Г. Эванс, Т. Г. Лэнгдон. — М. : Металлургия, 1980. — 256 с.
2. Борисенко, В. А. Прочность и твердость тугоплавких материалов при высоких температурах / В. А. Борисенко. — Киев : Наукова думка, 1984. — 211 с.
3. Бакунов, В. С. Прочность и структура керамики / В. С. Бакунов, А. В. Беляков // Огнеупоры и техническая керамика. — 1998. — № 3. — С. 11–15.
4. Кузин, В. В. Эффективное применение высокоплотной керамики для изготовления режущих и деформирующих инструментов / В. В. Кузин // Новые огнеупоры. — 2010. — № 12. — С. 13–19.
5. Kuzin, V. V. Effective use of high density ceramic for manufacture of cutting and working tools / V. V. Kuzin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2011. — Vol. 51, № 6. — P. 421–426.
6. Григорьев, С. Н. Перспективы применения инструментов с керамическими режущими пластинами в современной металлообработке / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин // Стекло и керамика. — 2011. — № 8. — С. 17–22.
7. Григорьев, С. Н. Влияние тепловых нагрузок на напряженно-деформированное состояние режущих пластин из керамики на основе оксида алюминия / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин, Д. Буртон, А. Батако // Вестник машиностроения. — 2012. — № 5. — С. 68–71.
8. Григорьев, С. Н. Влияние свойств керамики на напряженно-деформированное состояние режущей пластины в условиях установившейся теплопроводности / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин, Д. Буртон [и др.] // Вестник машиностроения. — 2012. — № 4. — С. 76–80.
9. Панин, В. Е. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов. В 2 т.



Рис. 5. Влияние тепловой нагрузки на интенсивность напряжений σ_i в КТ поверхностного слоя матрицы, примыкающего к межзеренной фазе, в керамике системы $ZrO_2-MgO-ZrO_2-Cu$. Номера комплексов тепловых потоков указаны на кривых

Т. 2. / В. Е. Панин, П. В. Макаров, С. Г. Псахье [и др.] (Российская академия наук). — Новосибирск : Наука, 1995. — 320 с.

9. Кузин, В. В. Влияние покрытия TiC на напряженно-деформированное состояние пластины из высокоплотной нитридной керамики в условиях нестационарной термоупругости / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, М. А. Волосова // Новые огнеупоры. — 2013. — № 9. — С. 52–57.
10. Кузин, В. В. Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки. Ч. 1. Влияние сложного механического нагружения / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, В. Н. Ермолин // Новые огнеупоры. — 2013. — № 8. — С. 47–51.
11. Кузин, В. В. Микроструктурная модель керамической режущей пластины / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2011. — № 5. — С. 72–76.
12. Кузин, В. В. Модель эксплуатации волокна при изготовлении проволоки / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, С. Ю. Федоров [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. — 2013. — № 2. — С. 24–28.
13. Соколкин, Ю. В. Механика деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел / Ю. В. Соколкин, А. А. Ташкинов. — М. : Наука, 1984. — 115 с.
14. Кузин, В. В. Методологический подход к повышению работоспособности керамических инструментов / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2006. — № 9. — С. 87–88. ■

(Продолжение следует)

Получено 14.10.13
© В. В. Кузин, С. Н. Григорьев,
В. Н. Ермолин, 2013 г.

УДК 666.968.13

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО СОЕДИНЕНИЯ КЕРАМИКИ И МЕТАЛЛА ГЕРМЕТИКАМИ ВИКСИНТ У-2-28(НТ) И ВИКСИНТ У-1-18(НТ)

Работа относится к исследованиям в области соединения металла с керамическими материалами. Проведен анализ влияния вида керамики, наличия подслоев и температурной обработки на качество клеевого соединения.

Ключевые слова: соединение, металл, керамика, подслои.

В течение многих лет в ОАО «Технология» используют герметики Висксинт У-2-28(НТ) и Висксинт У-1-18(НТ) в качестве адгезива для соединения различных по физико-техническим свойствам материалов. Ранее отмечалось*, что в качестве показателя качества соединения керамических оболочек с металлическим шпангоутом условно выбран предел прочности при сдвиге ($\sigma_{сдв}$). В то же время при паспортизации собранных со шпангоутом оболочек посредством склейки и испытании образцов-спутников для подтверждения качества склейки встречаются заниженные результаты прочности клеевого соединения. В связи с этим проводятся многочисленные эксперименты и исследования по влиянию технологических факторов, так или иначе способных влиять на прочность клеевого соединения. При изготовлении образцов для паспортизации используют различные виды керамики в зависимости от материала керамической оболочки, что может оказать влияние на адгезию герметика к подложке. Применение герметиков в качестве адгезива связано с использованием различных видов подслоев, возможного температурного воздействия в зависимости от технологических особенностей производства конкретных изделий, и с целым рядом других факторов. В работе приводятся результаты исследований, касающихся возможного влияния трех очередных факторов: вида керамики, наличия подслоев и температурной обработки.

Влияние вида керамики

В настоящий момент в качестве материала оболочек используют литийалюмосиликатную стеклокерамику ОТМ 357 и кварцевую керамику НИАСИТ. Первая — беспористая и поэтому не нуждается в дополнительном покрытии или пропитке для герметизации. Вторая — пористая, и, как правило, для закрытия пор и увеличения

прочности ее пропитывают кремнийорганической смолой МФСС-8 (метилфенилспироксидом) или ТМФТ (тетракис-метилфенилсилоксангидрокси-титаном) с последующей термообработкой для полимеризации при 250–300 °С. По действующей технологии пропитанные керамические призмы перед сборкой зачищают до удаления глянца, образцы из стеклокерамики дополнительной обработке не подвергают.

По рис. 1, а–в различий в характере разрушения образцов с использованием той или другой керамики не обнаруживается. Во всех случаях при 20 °С разрыв происходит по герметику, т. е. при использовании герметика Висксинт У-2-28(НТ) влияние вида керамики на адгезию не проявляется. Более того, в некоторых случаях необходимо выполнять сборку образцов из керамики НИАСИТ без пропитки (рис. 1, з), т. е. с пористостью от 7 до 11 %, но на значениях прочности клеевого соединения и характере разрушения сборок это не сказывается.

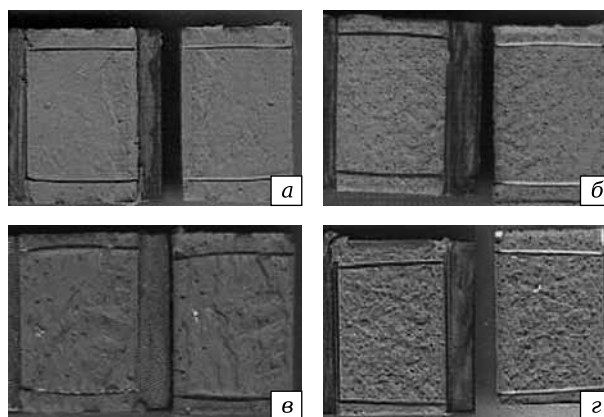


Рис. 1. Поверхности разрушения образцов металл – керамика, склеенных герметиком Висксинт У-2-28(НТ), после испытаний (слева — металлическая пластина, справа — керамический образец): а — металл со стеклокерамикой; б — металл с кварцевой керамикой НИАСИТ, пропитанной МФСС-8; в — металл с керамикой НИАСИТ, пропитанной ТМФТ; г — металл с керамикой НИАСИТ без пропитки

* Суздальцев, Е. И. Влияние толщины клеевого шва и шероховатости металлической подложки на прочностные свойства клеевого соединения металл – керамика / Е. И. Суздальцев, Е. В. Миронова, П. Ю. Якушкин [и др.] // Все материалы : энциклопедический справочник. — М. : ООО «Наука и технологии», 2013. — № 8. — С. 50–58.

Между тем в редких случаях при испытании образцов происходит отслоения герметика от керамической поверхности независимо от ее вида. Предполагалось, что это происходит из-за недостаточной механической обработки пропитанных образцов перед сборкой. Однако эксперимент с различной степенью зачистки не подтвердил этого. Независимо от того, была проведена обработка образцов шлифовальной шкуркой или нет, в ходе эксперимента характер разрушения оказался когезионным.

Во всех рассмотренных случаях уровень значений прочности клеевых соединений оказался достаточно высоким и составил 2,5–3,5 МПа. Таким образом, любой рассмотренный тип керамики можно надежно соединить с металлической подложкой посредством герметика Виксинт У-2-28 (НТ).

Влияние наличия подслоев

Принято считать, что кремнийорганические клеи и герметики имеют низкую адгезию к подложкам, ввиду чего необходимо введение различных полярных модификаторов или использование специальных праймеров — подслоев, которые можно разделить на две основные группы: горячей и холодной сушки. Согласно техническим условиям на герметики Виксинт У-1-18(НТ) и Виксинт У-2-28(НТ) для обеспечения надежного адгезионного контакта рекомендуется использовать их вместе с подслоями холодной сушки П-9 и П-11, что в условиях производства изделий очень удобно.

В связи с этим на снижение $\sigma_{сдв}$ клеевого соединения, которое связано с частичным отрывом герметика от поверхности металла или керамики, может оказать влияние качество нанесения подслоев. Для установления этого влияния и уточнения, какой из подслоев — П-9 или П-11 играет решающую роль в адгезии, был проведен эксперимент без нанесения обоих подслоев и без нанесения одного из них на поверхность керамики и металла. При этом в сборке применяли герметик У-2-28(НТ). Главным критерием оценки влияния наличия подслоев на адгезию в рамках этого эксперимента был принят характер разрушения образцов при испытаниях, представленный как отношение части площади адгезионного отрыва от металла к части площади адгезионного отрыва от керамики (табл. 1, 2).

В отсутствие подслоя П-11 на керамических призмах при 20 °С на незначительной части образцов обнаружился адгезионный отрыв (5 % площади поверхности склейки); при 150 и 300 °С на всех испытанных образцах наблюдался когезионный разрыв, а при 400 °С на 60 % образцов из общего количества произошло отслоение герметика по керамике на площади от 20 до 70 %. Таким образом, установлено, что нанесение на керамику подслоя П-9 без П-11 ведет к снижению адгезии, что незначительно проявляется при 20 °С и более выражено при 400 °С.

При нанесении на керамику только подслоя П-11 испытания образцов при 20 и 300 °С не показали отрицательных эффектов, при 150 °С на незначительной части образцов произошло отслоение от керамики (не более 10 %), а при 400 °С на половине испытанных

Таблица 1. Характер разрушения образцов и прочность клеевого соединения при различной обработке керамической подложки подслоями

Температура испытания, °С	Отношение площадей адгезионного отрыва от металла и керамики	Количество образцов, %	Предел прочности при сдвиге клеевого соединения, МПа
<i>Без П-11</i>			
20	0/5	20	3,6
20	0/0	80	3,6
150	0/0	100	2,2
300	0/0	100	0,8
400	0/20	30	0,4
400	0/70	20	0,4
400	0/40	20	0,4
400	0/0	30	0,4
<i>Без П-9</i>			
20	0/0	100	3,0
150	10/0	20	1,7
150	0/0	80	1,7
300	0/0	100	1,2
400	0/30	20	0,4
400	0/10	30	0,4
400	0/0	50	0,4
<i>Без П-11 и П-9</i>			
20	0/0	100	2,5
150	0/0	100	1,7
300	0/0	100	1,1
400	0/90	20	0,5
400	0/10	20	0,5
400	0/0	60	0,5

образцов обнаружили участки с адгезионным отрывом, площадь которых составила от 10 до 30 %. Следовательно, при нанесении на керамические образцы только подслоя П-11 не приводит к значительному изменению адгезионных свойств склейки при температуре от 20 до 300 °С, но при 400 °С отсутствие подслоя П-11 оказывает неблагоприятное воздействие.

При полном отсутствии праймеров на керамике снижение адгезионной прочности наблюдалось только при 400 °С, участки с отслоением герметика составили от 10 до 90 %. Таким образом, можно однозначно утверждать, что при отсутствии подслоев (одного или двух) на керамической поверхности в диапазоне от 20 до 300 °С адгезия практически не ухудшается.

Рассмотрим ситуацию отсутствия подслоев на металлической поверхности. При нанесении на образцы подслоя П-11 без П-9 оказалось, что на адгезионные свойства это практически не повлияло, лишь при 400 °С на небольшой части образцов произошло отслоение герметика от металла на участке, составляющем 5 % площади склейки.

При нанесении на металлические поверхности только подслоя П-9 без П-11 наблюдали выраженное снижение адгезии на всех образцах из партии, испытанных при 20 °С, обнаружили отслоения, составившие до 50 % от площади склейки. Испытания при более высоких температурах также показали умень-

Таблица 2. Характер разрушения образцов и прочность клеевого соединения при различной обработке металлической подложки подслоями

Температура испытания, °C	Отношение площадей адгезионного отрыва от металла и керамики	Количество образцов, %	Предел прочности при сдвиге клеевого соединения, МПа
<i>Без П-9</i>			
20	0/0	100	3,6
150	0/0	100	2,1
300	0/0	100	1,0
400	5/0	20	0,8
400	0/0	80	0,8
<i>Без П-11</i>			
20	50/0	100	3,3
150	5/0	35	2,2
150	0/0	65	2,2
300	0/0	100	1,2
400	5/0	65	0,8
400	0/0	35	0,8
<i>Без П-9 и П-11</i>			
20	5/0	35	2,8
20	0/0	65	2,8
150	0/0	100	2,1
300	5/0	20	1,0
300	0/0	80	1,0
400	10/0	50	0,5
400	5/0	20	0,5
400	0/0	30	0,5

шение адгезии герметика к металлу, но в гораздо меньшей степени. Так, при 150 °C отслоения были обнаружены на 35 % образцов, а при 400 °C на 65 % образцов, причем площади участков с адгезионным отрывом составили около 5 % от площади склейки.

Установлен факт снижения адгезии при отсутствии подслоев на металлической поверхности при 20, 300 и 400 °C. Таким образом, если при сборке образцов на металлическую поверхность не нанесли подслей П-11 или оба подслоя (П-9 и П-11), то с большой вероятностью адгезионные свойства будут ухудшены, причем негативное влияние отсутствия праймера тем заметнее, чем ниже температура испытания. Очевидно, что подслей П-11 играет несколько большую роль в формировании прочного адгезионного слоя в образце, чем подслей П-9.

В результате эксперимента становится понятно, что при температурах от 20 до 300 °C керамика проявляет низкую чувствительность к наличию или отсутствию подслоев, при 400 °C отсутствие праймера становится более заметным. Металл оказался более зависим от наличия подслоев, особенно подслоя П-11. Также необходимо отметить, что в результате испытаний при 300 °C почти для всех образцов независимо от того, нанесли подслей или нет, обнаружился когезионный характер разрушения. Данный эффект может быть связан с тем, что при 300 °C проявляется собственная специфическая адгезия герметика. Возможно, это связано с тем, что длительное (5 мин) воздействие температуры 300 °C является предельным для эксплуатации

герметика Виксинт У-2-28(НТ), т. е. при ее воздействии начинаются деструктивные процессы.

Проведенный эксперимент дает достаточно четкое представление о возможности влияния человеческого фактора — случайного пропуска образца (или нескольких образцов) в ходе обработки всей партии подслоями — на исход испытаний образцов при паспортизации изделий. Очевидно, что грубейшее нарушение технологического процесса в виде пропуска операции нанесения подслоев может повлечь ухудшение адгезии, но такая ошибка не обязательно проявится на испытаниях образцов при 20 °C при паспортизации изделия. Кроме того, значения прочности, полученные в рамках проведенного эксперимента, оказались не менее 2 МПа при 20 °C, что соответствует величине предела прочности клеевого соединения, получаемого при выполнении полного технологического процесса склейки с нанесением обоих рассматриваемых подслоев.

Представленные данные касаются только герметика Виксинт У-2-28(НТ). Для герметика Виксинт У-1-18(НТ) были получены совсем иные результаты. Так, в отсутствие какого-либо подслоя наблюдалось ухудшение адгезионных свойств, что проявлялось в отслоении герметика от металлической или от керамической подложки с уменьшением $\sigma_{сдв}$ с 3,0–3,4 до 1,6–2,0 МПа при 20 °C и с 1,3–1,5 до 0,3–0,6 МПа при 300 °C. На рис. 2 изобра-

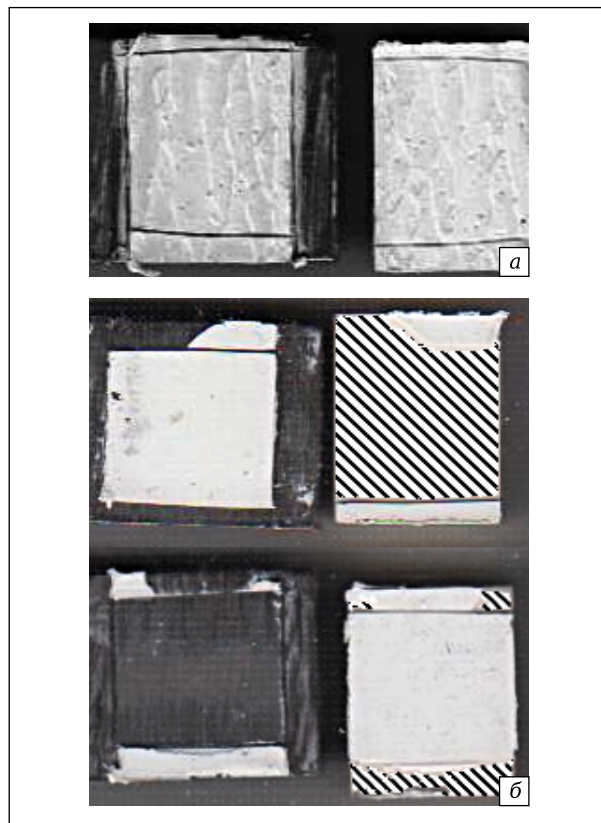


Рис. 2. Поверхности разрушения образцов металл – керамика, склеенных посредством герметика Виксинт У-1-18(НТ), после испытаний (слева — металлическая пластина, справа — керамический образец): а — при использовании подслоев П-9 и П-11; б — без использования подслоя П-11 (керамическая поверхность без герметика заштрихована)

жены образцы после испытаний, наглядно демонстрирующие роль подслоя П-11 для склейки металла и керамики: при отсутствии подслоя П-11 всегда происходит адгезионный отрыв, при этом отслоение происходит от керамической подложки (поверхность заштрихована для контраста, поскольку керамика и герметик одинакового цвета) либо от металлической.

Температурная обработка

Для большинства изделий из пористой кварцевой керамики предусмотрены такие операции, как сушка перед нанесением влагозащитного покрытия и термообработка после его нанесения по режиму 2–4 ч при температуре от 75 до 100 °С. Поэтому образцы-спутники к изделию, склеенные герметиком, также подвергаются сушке. Проведение этой операции, способно ускорить процесс вулканизации герметика. Однако поскольку образцы до испытаний всегда выдерживаются не менее 72 ч, что соответствует времени вулканизации герметика при комнатной температуре, то при высоком качестве компонентов герметика, при соблюдении технологии и рецептуры приготовления герметика увеличение прочности герметика совсем незначительно или его нет вовсе. Это хорошо демонстрирует следующий пример. Из одной порции приготовленного герметика были собраны две партии образцов, одна из которых была подвергнута дополнительной тепловой обработке, а вторая нет. По истечении 3 сут после склейки образцы испытали на прочность при сдвиге. При этом первая партия показала $\sigma_{сдв}$ на уровне 2,4 МПа, а вторая (без термообработки) 2,2 МПа. Разница между значениями менее 10 % и может быть отнесена к погрешности, поскольку, как правило, внутри одной партии образцов размах значений достигает более 15 %.

Заключение

Клеевые соединения посредством герметиков Висксинт У-2-28(НТ) и Висксинт У-1-18(НТ) представляют собой сложную композицию, прочность которой может зависеть от многочисленных факторов. Применение данных герметиков, несущих силовую нагрузку, в качестве основного средства для соединения разнородных материалов требует от исполнителей большой аккуратности и концентрации внимания. В ходе исследований было установлено, что для клеевого соединения при помощи рассматриваемых герметиков пригодна как беспористая керамика (стеклокерамика), так и пористая кварцевая керамика с открытой пористостью от 7 до 11 %, а также кварцевая керамика, пропитанная кремнийорганическими смолами ТМФТ или МФСС. Нанесение подслоев — важная операция. Качество ее исполнения влияет на конечные свойства соединения, несмотря на то что это может и не проявиться при использовании герметика Висксинт У-2-28(НТ) в снижении общей прочности клеевого соединения, но адгезия будет уменьшена, что приведет к ухудшению эксплуатационных свойств изделия. Для герметика Висксинт У-1-18(НТ) ошибка при нанесении подслоев может оказаться решающей и привести к браку. Термообработка клеевого соединения при 75–100 °С в течение 2–4 ч не ухудшает свойств клеевого соединения, но и не улучшает его при качественном исполнении операции склейки. ■

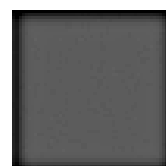
Получено 24.10.13

© Е. И. Суздальцев, Е. В. Миронова,
2013 г.

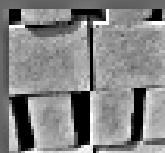
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

10-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ОГНЕУПОРАМ

IREFCON 14



15–18 января 2014 г.
г. Калькутта, Индия



www.irmaindia.org

Статистика

ПРОИЗВОДСТВО ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В РОССИИ В МАЕ 2013 г.

Продукция	Май 2013 г.	В % к		Январь – май 2013 г. / январь – май 2012 г., %
		маю 2012 г.	апрелю 2013 г.	
Чугун, млн т	4,3	97,1	107,6	98,2
Ферросилиций, тыс. т	87,9	100,0	98,8	103,5
Феррохром низкоуглеродистый, тыс. т	17,4	94,3	116,7	94,2
Сталь, млн т	6,0	99,4	104,4	96,6
Трубы стальные, тыс. т	838	104,7	98,7	104,5
Из общего количества стальных труб:				
бурильные для бурения нефтяных или газовых скважин из черных металлов (кроме литейного чугуна)	3,4	92,1	106,7	86,1
обсадные	83,9	133,4	122,9	99,5
насосно-компрессорные	34,3	100,4	98,5	105,4
Проволока из железа или нелегированной стали, тыс. т	121	100,5	99,5	109,9
Проволока из нержавеющей стали и прочих легированных сталей, тыс. т	22,4	90,3	92,5	92,4
Алюминий первичный, тыс. т		85,9	101,1	90,9
Оксид алюминия (глинозем), кроме искусственного корунда, тыс. т		97,4	107,4	94,4

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ

ПРОИЗВОДСТВО ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОЧИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ В РОССИИ В МАЕ 2013 г.

Продукция	Май 2013 г.	В % к		Январь – май 2013 г. / январь – май 2012 г., %
		маю 2012 г.	апрелю 2013 г.	
Кирпичи, блоки, плитки и прочие огнеупорные изделия из кремнеземистой каменной муки или диатомитовых земель, тыс. т	4,4	77,2	89,8	80,8
Кирпичи, блоки, плитки и прочие огнеупорные изделия, кроме изделий из кремнеземистой каменной муки или диатомитовых земель, тыс. т	105	92,5	100,6	92,2
Неформованные огнеупоры, в том числе цементы, строительные растворы, огнеупорные бетоны и аналогичные составы, не включенные в другие группировки, тыс. т	88,6	86,6	103,1	90,5
Огнеупорные изделия безобжиговые и прочие, не включенные в другие группировки, тыс. т	17,1	70,1	70,1	98,6
Расслоенный вермикулит, вспученные глины, вспененный шлак (шлаковая пемза) и аналогичные минеральные вспученные материалы, тыс. м ³	401	81,2	118,9	96,8

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА В МАЕ 2013 г.

Страна, регион	Май 2013 г., тыс. т	Май 2012 г., тыс. т	Май 2011 г., тыс. т	Изменение май 2013 г. / май 2012 г., %	5 мес 2013 г., тыс. т	5 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 5 мес 2013 г. / 5 мес 2012 г., %
Австрия	524	484	523	8,3	2576	2479	3,9
Бельгия	361	358	441	0,8	1820	1676	8,6
Чехия	358	363	371	-1,4	1697	1722	-1,5
Франция	916	899	850	1,9	4208	4226	-0,4
Германия	2285	2385	2614	-4,2	11339	11460	-1,1
Венгрия	54	111	113	-51,4	253	545	-53,6
Италия	668	850	909	-21,4	3041	4238	-28,2
Нидерланды	540	445	524	21,3	2217	2420	-8,4
Польша	380	328	347	15,9	1811	1845	-1,8
Словакия	332	309	254	7,4	1587	1558	1,9
Испания	374	345	357	8,4	1610	1601	0,6
Великобритания	822	774	331	6,2	3748	2548	47,1
Прочие страны Европы (ЕС-27)	586	620	585	-5,5	2859	3178	-10,0
ЕС (27 стран), всего	8200	8271	8531	-0,9	38766	39495	-1,8
Босния и Герцеговина	64	66	55	-3,0	327	296	10,5
Сербия	70	56	115	25,0	70	240	-70,8
Турция	815	660	718	23,5	4000	3430	16,6
Прочие страны Европы, всего	950	782	889	21,5	4398	3965	10,9
Казахстан	250	196	285	27,6	1119	1178	-5,0
Россия	4344	4468	3884	-2,8	20880	21366	-2,3
Украина	2430	2489	2426	-2,4	12093	12088	0,0
СНГ, всего	7024	7152	6594	-1,8	34093	34632	-1,6
Канада	480	675	688	-28,9	2458	3301	-25,5
Мексика	360	341	371	5,6	1931	1966	-1,8
США	2600	2897	2489	-10,3	13051	14316	-8,8
Северная Америка, всего	3440	3913	3548	-12,1	17440	19583	-10,9
Аргентина	235	215	239	9,3	962	1137	-15,4
Бразилия	2246	2195	3067	2,3	10838	11281	-3,9
Чили	55	96	104	-42,7	314	454	-30,8
Колумбия	20	32	28	-37,5	104	151	-31,1
Парагвай	2	5	4	-60,0	8	21	-61,9
Страны Южной Америки, всего	2558	2543	3442	0,6	12227	13045	-6,3
ЮАР	445	441	405	0,9	2160	2095	3,1
Иран	133	212	213	-37,3	696	1106	-37,1
Китай	61132	58411	54573	4,7	299205	280535	6,7
Индия	4120	4079	3298	1,0	20435	19723	3,6
Япония	7219	6847	6776	5,4	34576	33513	3,2
Южная Корея	3286	3509	3595	-6,4	16235	17385	-6,6
Тайвань	1190	1016	1104	17,1	5457	4803	13,6
Страны Азии, всего	76947	73862	69346	4,2	375907	355958	5,6
Австралия	302	309	457	-2,3	1500	1553	-3,4
Новая Зеландия	59	63	59	-6,3	279	272	2,6
Австралия и Океания, всего	361	372	517	-3,0	1779	1824	-2,5
МИР, всего*	100057	97550	93499	2,6	487466	471703	3,3

* Итог приведен по 38 странам, на которые приходится около 99 % мирового производства чугуна.

По материалам WSA

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ В МАЕ 2013 г.

Страна, регион	Май 2013 г., тыс. т	Май 2012 г., тыс. т	Май 2011 г., тыс. т	Изменение май 2013 г. / май 2012 г., %	5 мес 2013 г., тыс. т	5 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 5 мес 2013 г. / 5 мес 2012 г., %
Австрия	683	627	676	9,0	3320	3198	3,8
Бельгия	555	685	751	-19,0	2966	3215	-7,7
Болгария	40	56	80	-28,8	207	296	-30,0
Чехия	467	487	508	-4,0	2183	2313	-5,6
Финляндия	269	346	385	-22,2	1482	1777	-16,6
Франция	1424	1475	1457	-3,5	6647	7043	-5,6
Германия	3653	3708	4112	-1,5	18035	18152	-0,6
Греция	105	137	201	-23,4	425	618	-31,2
Венгрия	74	141	149	-47,6	304	694	-56,2
Италия	2316	2607	2656	-11,1	10497	12437	-15,6
Люксембург	150	182	241	-17,4	837	934	-10,4
Нидерланды	635	508	614	24,8	2631	2806	-6,2
Польша	715	725	718	-1,4	3390	3855	-12,1
Словакия	419	385	325	8,9	1996	1937	3,0
Словения	49	55	62	-10,6	248	289	-14,4
Испания	1371	1315	1501	4,3	6272	6319	-0,7
Швеция	405	406	496	-0,3	1905	2102	-9,4
Великобритания	984	1011	845	-2,6	4663	3618	28,9
Прочие страны ЕС (27 стран)	397	588	477	-32,5	1923	2520	-23,7
ЕС (27 стран), всего	14711	15441	16253	-4,7	69932	74123	-5,7
Босния и Герцеговина	66	66	58	1,0	316	278	13,6
Хорватия	15	0	7	...	64	0	...
Македония	0	16	38	-100,0	32	107	-70,1
Норвегия	50	60	52	-17,1	253	292	-13,4
Сербия	76	58	119	29,9	76	265	-71,5
Турция	3020	3081	2889	-2,0	14379	14989	-4,1
Прочие страны Европы, всего	3227	3282	3163	-1,7	15120	15931	-5,1
Белоруссия	235	231	229	1,9	1124	1112	1,1
Казахстан	285	272	426	4,6	1278	1636	-21,9
Молдова	0	0	0	0,0	0	108	-100,0
Россия	6086	6072	5792	0,2	29046	30002	-3,2
Украина	2772	2965	3068	-6,5	13968	14306	-2,4
Узбекистан	70	75	68	-6,5	313	306	2,2
СНГ, всего	9448	9615	9584	-1,7	45728	47470	-3,7
Канада	1140	1211	1217	-5,9	5514	5919	-6,8
Куба	25	28	24	-11,0	112	132	-15,0
Сальвадор	10	8	8	23,5	43	37	15,8
Гватемала	30	27	24	13,1	138	131	5,3
Мексика	1460	1524	1545	-4,2	7440	7511	-0,9
Тринидад и Тобаго	42	61	53	-31,2	241	264	-8,7
США	7522	7913	7141	-4,9	36169	38953	-7,1
Северная Америка, всего	10229	10772	10013	-5,0	49659	52947	-6,2
Аргентина	449	458	496	-2,1	1986	2281	-12,9
Бразилия	3013	2856	3269	5,5	14143	14594	-3,1
Чили	105	150	157	-30,2	553	722	-23,4
Колумбия	90	126	115	-28,6	435	581	-25,1

Окончание таблицы

Страна, регион	Май 2013 г., тыс. т	Май 2012 г., тыс. т	Май 2011 г., тыс. т	Изменение май 2013 г. / май 2012 г., %	5 мес 2013 г., тыс. т	5 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 5 мес 2013 г. / 5 мес 2012 г., %
Эквадор	40	39	48	3,5	193	182	5,8
Парагвай	1	4	3	-71,4	6	14	-59,3
Перу	95	57	74	67,7	440	373	17,8
Уругвай	7	8	7	-15,1	27	30	-9,6
Венесуэла	225	243	266	-7,3	1057	1028	2,9
Южная Америка, всего	4025	3941	4435	2,1	18841	19805	-4,9
Алжир	60	58	66	4,5	212	283	-25,1
Египет	561	554	568	1,3	2799	2780	0,7
Иран	1287	1242	1073	3,7	6077	6165	-1,4
Марокко	52	60	63	-13,3	266	268	-0,7
Катар	192	189	173	1,6	957	928	3,1
Саудовская Аравия	479	463	467	3,3	2303	2260	1,9
ЮАР	570	617	739	-7,6	2775	3131	-11,4
Африка/страны Среднего Востока, всего	3202	3183	3148	0,6	15389	15814	-2,7
Китай	67034	62489	59769	7,3	325245	301188	8,0
Индия	6730	6633	6217	1,5	33258	32295	3,0
Япония	9622	9224	9049	4,3	45428	44867	1,3
Южная Корея	5530	5951	5856	-7,1	27602	209130	-5,2
Тайвань	2060	1804	1981	14,2	9434	8836	6,8
Страны Азии, всего	90976	86102	82873	5,7	440967	416316	5,9
Австралия	406	396	563	2,6	1992	2003	-0,5
Новая Зеландия	79	82	75	-3,2	274	366	2,0
Океания, всего	485	477	638	1,6	2366	2369	-0,1
МИР, всего*	136302	132812	130107	2,6	658002	644777	2,1

* Итог приведен по 62 странам, входящим в Международный институт чугуна и стали, на которые приходится около 98 % мирового производства стали.

По материалам WSA

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



15th CHINA (GUANGZHOU) INT'L EXHIBITION ON METAL AND METALLURGY

— 15-я китайская международная выставка металлов и металлургии

16–18 июня 2014 г.
г. Гуанчжоу, Китай

Специализация:

- Металлы и металлургия
- Оборудование производства и обработки толстолистового металла, труб, проволоки и др.
- Нержавеющие стали, метизы, пружины
- Обработка листового металла, прессового и штамповочного оборудования
- Отливки и литье + технологический симпозиум
- Промышленные печи
- Термообработка
- Оборудование автоматизации металлургического производства

<http://www.julang.com.cn/english/index.asp>

ЦЕНЫ НА НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ, НА УСЛОВИЯХ CIF ОСНОВНЫЕ ПОРТЫ ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЫ, долл./т (если не указано иное)

Вид огнеупорного сырья	Апрель 2013 г.	Май 2013 г.	Июнь 2013 г.
<i>Глинозем и боксит</i>			
Глинозем спеченный, 98,5–99,5 % Al_2O_3 , насыпью, fob США	675–725	675–725	675–725
Глинозем спеченный со средним содержанием щелочей, насыпью, fob	750–850	750–850	750–850
Глинозем плавленный 95 % Al_2O_3 :			
коричневый, 8–220 меш, китайского производства, fob Китай	800–840	800–840	800–840
белый, мешками по 25 кг, европейского производства, cif Европа, евро/т	850–890	850–890	850–890
Боксит китайский огнеупорный, кусковой 0–25 мм, Al_2O_3 , % / Fe_2O_3 , % / кажущаяся плотность, г/см ³ , fob Xingang:			
Шаньси (Shanxi), кольцевые печи, 87 / 2,0 / 3,2	420–435	420–435	420–435
Гуйчжоу (Guizhou), fob Zhanjiang / Fangcheng:			
кольцевые печи, 87 / 2,0 / 3,2	400–430	400–430	400–430
Боксит из Гайаны, огнеупорная марка, fob, Линден	460–510	460–510	460–510
<i>Хромовая руда</i>			
Трансваальская (ЮАР), огнеупорная марка, 46 % Cr_2O_3 , насыпью, fob	425–500	425–500	425–500
<i>Графит кристаллический</i>			
Cif европейские порты:			
крупночешуйчатый:			
94–97 % C, +80 меш	1400–1500	1400–1500	1400–1500
90 % C, +80 меш	1200–1400	1200–1600	1200–1600
среднечешуйчатый:			
90 % C, +100–80 меш	950–1000	950–1000	950–1100
94–97 % C, +100–80 меш	1100–1300	1100–1300	1100–1300
85–87 % C, +100–80 меш	800–1000	800–1100	800–1100
мелкочешуйчатый:			
90 % C, –100 меш	850–1050	850–1050	850–1050
94–97 % C, –100 меш	900–1200	900–1200	900–1200
<i>Магнезильное сырье</i>			
Греческий сырой магнезит, < 3,5 % SiO_2 , fob порты Восточного Средиземноморья, евро/т	65–75	65–75	65–75
Намертво обожженный периклаз китайского производства, кусковой, 90 % MgO	320–350	320–350	320–350
То же, 92 % MgO	410–450	410–450	410–450
То же, 94–95 % MgO	450–480	450–480	450–480
То же, 97,5 % MgO	531–583	531–583	531–583
Кальцинированный магнезит кусковой, 90–92 % MgO, fob Китай	303–343	303–343	303–343
<i>Карбид кремния</i>			
8–220 меш, cif Великобритания:			
черный, около 99 % SiC, сорт I, евро/т	1900–2100	1900–2100	1900–2100
то же, сорт II, евро/т	1500–1650	1500–1650	1500–1650
огнеупорного сорта, min 98 % SiC, евро/т	1500–1800	1500–1800	1500–1800
то же, min 95 % SiC, евро/т	1350–1450	1350–1450	1350–1450
<i>Минералы sillиманитовой группы</i>			
Андалузит, fob Трансвааль, 57–58 % Al_2O_3 , насыпью, партиями по 2000 т, евро/т	235–280	235–280	235–280
Кианит обожженный, ex-works с предприятий США, 54–60 % Al_2O_3 , партиями по 22 т	373–439	373–439	373–439
<i>Циркон</i>			
Насыпью, fob:			
Австралия (стандарт)	1250–1550	1250–1550	1250–1550
США (стандарт)	2550–2750	2550–2750	2550–2750
ЮАР (керамический сорт)	2300–2650	2300–2650	2300–2650

По данным «Industrial Minerals»

ОБЗОР ПАТЕНТОВ РФ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО ОГНЕУПОРАМ



СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КВАРЦЕВОЙ КЕРАМИКИ

Викулин В. В., Самсонов В. И., Бородай Ф. Я.,
Иткин С. М., Шкарупа И. Л.

Патент RU 2466965

МПК C04B35/14, C04B35/622

Изобретение относится к технологии получения изделий из кварцевой керамики различного назначения с использованием отходов керамического производства. Способ получения изделий из кварцевой керамики включает мокрый помол кварцевого сырья, приготовление шликера, формование изделий в гипсовых формах, сушку и обжиг изделий. В качестве сырья используют очищенный от следов гипса бой необожженных отходов кварцевой керамики, а приготовление шликера осуществляют путем мокрого помола в шаровой мельнице при соотношении материал : мелющие тела : вода в пропорции 1 : (0,5–0,7) : (0,13–0,15) в течение 2–6 ч с последующим гидратированием зерен кварцевого стекла в течение 10–30 ч при перемешивании шликера. Обжиг ведут при температуре 1150–1200 °С в течение 2–4 ч. Технический результат изобретения — снижение температуры спекания для получения прочных и термостойких изделий, высокая однородность материала в изделиях, исключение недоливов и расслоения, уменьшение брака по трещинам при производстве крупнобаритных тонкостенных изделий на стадии формования и обжига.

Бюллетень «Изобретения. Полезные модели».*
— 2012. — № 32. — С. 211.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО И УСТАНОВКА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СПОСОБА

Гончаров А. И., Гончарова А. К.

Патент RU 2469004

МПК C04B9/20, F27B1/00

Способ получения магнезиального вяжущего путем разложения магнезита или доломита на оксид магния и диоксид углерода в процессе термической обработки дробленых природных минералов при 600–750 °С в течение 1–2 ч в при-

сутствии 0,5 % натрия хлористого от обжигаемых доломита или магнезита, отличается тем, что для термообработки используют магнезит совместно с доломитом и хлористым натрием, мас. %: магнезит 12–17, доломит 82,5–87,5, натрий хлористый 0,5.

Дробленые магнезит и доломит орошают 20 %-ным водным раствором хлористого натрия удельной массой 1,12 г/см³ из расчета содержания натрия хлористого в смеси с магнезитом и доломитом 0,5 мас. %, орошенные магнезит и доломит загружают в смеситель барабанного типа и перемешивают в течение 15–20 мин.

Для термической обработки смеси магнезита, доломита и натрия хлористого применяют термостатированный газ, имеющий температуру 600–650 °С и получаемый в специальном устройстве термостатирования продуктов природного газа, воздуха и отработанного газа после обжига магнезита, доломита и натрия хлористого. Длительность термообработки дробленых магнезита, доломита с натрием хлористым составляет 1–1,5 ч. Измельчение обожженных магнезита, доломита с натрием хлористым осуществляют с ортофосфорным и тетраборным натрием в массовом соотношении 1:0,5 и составляющими 0,5–1,2 % от массы, загружаемой на измельчение обожженных магнезита, доломита с хлористым натрием. Измельчение проводят до дисперсности 50–70 мкм.

Установка для получения магнезиального вяжущего, включает смеситель барабанного типа, вертикальную печь, устройство термостатирования газа, шаровую мельницу и отличается тем, что вертикальная печь, выложенная из огнеупорного кирпича, имеет встроенную клетку, представляющую собой решетку из металлических прутьев с размером ячеек 20×20 мм, бункер, металлический контейнер на колесах, что позволяет вести процесс термообработки смеси магнезита, доломита и хлористого натрия непрерывно.

Установка может включать устройство термостатирования газов, позволяющее подавать газ с заданной температурой в печь, что исключает пережог в печи магнезита и доломита и позволяет получать обожженные магнезит и доломит, содержащие оксид магния в активной форме и не содержащие оксид кальция.

«Бюллетень». — 2012. — № 34. — С. 222, 223.

* В дальнейшем приводится сокращенное название «Бюллетень».

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО

Крамар Л. Я., Орлов А. А., Черных Т. Н., Трофимов Б. Я., Белобородова Е. С., Гамалий Е. А., Зимич В. В., Юрин А. Е.

Патент RU 2469970

МПК C04B9/20

Способ получения магнезиального вяжущего, при котором сырье — брусит измельчают, обжигают и размалывают в порошок, отличается тем, что сырье измельчают до получения фракции 0–0,5 мм, затем смешивают со связующим ЛСТ в количестве 3–4 % от массы брусита, затворяют водой с растворенным в ней бишофитом в количестве 3–5 % от массы брусита, формуют гранулы и обжигают при 800–850 °С 1,5–2 ч, затем охлаждают и размалывают до остатка на сетке 0,08 не более 15 %.

«Бюллетень». — 2012. — № 35. — С. 226.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕУПОРНОГО ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Абдрахимов В. З.

Патент RU 2470885

МПК C04B14/24, C04B20/06

Способ получения огнеупорного пористого заполнителя, включает дозирование и перемешивание керамической композиции, содержащей, мас. %: жидкое стекло, модифицированное хлоридом натрия, 15–20, отработанный катализатор ИМ-2201 80–85, гранулирование и вспучивание гранул, термообработку при 850–950 °С. Способ отличается тем, что при получении пористого заполнителя используют отработанный катализатор ИМ-2201 техногенного происхождения наноразмерностью от 100 до 200 нм.

«Бюллетень». — 2012. — № 36. — С. 209, 210.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРУНДОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Непочатов Ю. К.

Патент RU 2470896

МПК C04B35/10

Способ изготовления корундовых изделий включает спекание заготовок в процессе циклической термообработки. После завершения каждого цикла осуществляют полное охлаждение изделий, последующий цикл термообработки проводят при более высокой конечной температуре, чем предыдущий. Способ отличается тем, что спекание выполняют в процессе проведения двух циклов термообработки. При этом

первый цикл проводят в окислительной атмосфере при 1560–1620 °С, второй — в водороде при 1620–1700 °С.

Корундовые изделия, изготовленные предлагаемым способом, могут найти применение в качестве керамических бронез элементов для изготовления индивидуальных и транспортных средств защиты, а также в качестве изоляторов и подложек для электронной техники.

«Бюллетень». — 2012. — № 36. — С. 212.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОД-КАРБИДКРЕМНИЕВОГО МАТЕРИАЛА

Синани И. Л., Бушуев В. М., Бушуев М. В.

Патент RU 2471750

МПК C04B35/577, C04B35/528

Способ получения изделий из углерод-карбидкремниевого материала включает изготовление заготовки из пористого углеграфитового материала, нагрев ее в замкнутом объеме реактора в инертной атмосфере или вакууме в парах кремния до 1700–1900 °С с последующей выдержкой в указанном интервале температур в течение 1–3 ч и охлаждение. Способ отличается тем, что нагрев заготовки до 1500–1550 °С, или 1550–1600 °С, или 1600–1650 °С, или 1650–1700 °С ведут при давлении 1–36 мм рт. ст. с последующей выдержкой в одном из указанных интервалов температур и давлений в течение 1–3 ч и охлаждением до 1300–1400 °С. После этого заготовку нагревают до 1750–1900 °С, выдерживают в указанном интервале температур в течение 1–3 ч и окончательно охлаждают. Охлаждение заготовки до 1300–1400 °С проводят со скоростью 100–200 град/ч. Нагрев и выдержку заготовки при 1500–1550 °С, 1550–1600 °С, 1600–1650 °С или 1650–1700 °С с последующим охлаждением до 1300–1400 °С повторяют до 3 раз.

Изобретение относится к области конструкционных материалов, работающих в условиях высокого теплового нагружения и окислительной среды, и может быть использовано в химической, нефтехимической и химико-металлургической отраслях промышленности, а также в авиатехнике для создания изделий и элементов конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред, в частности форсунок, тиглей, деталей тепловых узлов, высокотемпературных турбин и летательных аппаратов, испытывающих значительные механические нагрузки при эксплуатации.

«Бюллетень». — 2013. — № 1. — С. 205.

Обзор подготовлен редакцией журнала «Новые огнеупоры»

УДК 666.32/.36(02)(049.3)



О монографии «Техногенное минеральное сырье Урала» В. А. Перепелицына, В. М. Рывтина, В. А. Коротеева, А. Б. Макарова, В. Г. Григорьева, Г. И. Гильварга, В. А. Абызова, Ф. А. Табуловича
Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2013. — 322 с.

Монография «Техногенное сырье Урала» начинается введением, содержит семь частей и заключение, к каждой части имеется список литературы. Впервые вышла монография, которая представляет интерес для специалистов различных отраслей промышленности. Книга фактически является справочным пособием для пользователей, в ней приведены данные о техногенно-минеральных месторождениях (ТММ) Уральского региона. Техногенно-минеральное сырье рассматривается как резерв минерально-сырьевой базы страны. Тираж монографии сравнительно небольшой — 300 экз.

В первой части книги дана общая характеристика техногенных образований Уральского региона, рассмотрены исторические условия формирования и размещения ТММ; предложена классификация ТММ, основу которой составляет вещественный состав полезных ископаемых месторождений и условия их формирования, отражающие минерально-петрографический и химический составы техногенно-минерального сырья. Размещение техногенно-минеральных образований в Уральском регионе приурочено к промышленным узлам и районам, и эти регионы могут в дальнейшем играть определяющую роль в освоении и переработке ТММ.

Во второй части рассмотрены типы минеральных месторождений Уральского региона, условно разделенных на две группы техногенно-минеральных образований (ТМО): сформировавшиеся в низкотемпературных условиях и в условиях высокотемпературных процессов. В основу анализа и описания ТММ авторы положили принадлежность к определяющей отрасли промышленности: черной металлургии, благородных металлов, цветной металлургии, редких металлов, топливно-энергетической отрасли, химического производства и др. По каждому предприятию отрасли приведены запасы ТММ, содержание компонентов, размещение, площади, занимаемые ТМО, и условия хранения. Особое внимание уделено экологической проблеме хранения отходов цветной, химической и других отраслей промышленности.

В третьей части монографии приведены вещественный состав и свойства техногенного сырья, образующегося при производстве чугуна, стали, цветных металлов (меди, никеля, алюминия), а также золы и шлаков теплоэнергетики, техногенного сырья при производстве асбеста, переработке бокситов, получении глинозема и других видах производств. Подробно описаны металлургические шлаки, их физико-химические свойства и фазовый состав; детально рассмотрены алюминотермические шлаки ферросплавного производства разных предприятий (ОАО «Ключевский завод ферросплавов», ОАО «Новотроицкий металлургический комбинат»). Роли оксидов титана в формировании структуры и свойств шлаков алюминотермического производства уделено особое внимание. Эти шлаки представляют наибольший интерес для производства огнеупоров, поскольку являются огнеупорными.

Вещественный, минеральный состав и микроструктура ванадиевых шлаков изложены в главе 3.3. Сложность в изучении вещественного состава ванадиевых шлаков обусловлена содержанием в них поливалентных оксидов ванадия, марганца, железа, титана и хрома и влиянием парциального давления кислорода и температуры на количественное и качественное содержание минеральных фаз. Приведены пределы колебаний химического состава фаз ванадиевого шлака, баланс по минеральным фазам и условные структурные формулы минералов.

Главы 3.4–3.16 посвящены изложению химико-минерального состава синтетических рафинировочных шлаков в производстве ферросплавов, тяжелых цветных металлов (медь, никель), вторичного алюминия, асбеста, титаномагнетитовой руды (ГОК «Ванадий»), талька (ОАО «Шабровский тальковый комбинат»), глинозема; золы и шлака ТЭЦ; химико-минерального состава электродов и утилизации их после эксплуатации в электролизерах; другого техногенного сырья (пиррофиллитового, кианитового, ОАО «Малышевское рудоуправление»). Техногенное сырье (шлаки) перечисленных производств весьма разнообраз-

но по химическому и минеральному составам, имеет весьма широкий диапазон по зерновому составу (от крупных кусков шлаков при переработке бокситов и получении талька до частиц размером несколько миллиметров при производстве асбеста).

Существующая практика переработки и применения техногенного сырья рассмотрена в части 4 монографии. Технология переработки условно разделена на две группы: переработка минерального сырья, близкого к природному (вскрышные и вмещающие породы, отходы сухой переработки и обогащения) и переработка сырья, образующегося в результате технологических процессов (шлаки, шламы, золы). Во всех случаях переработка техногенного сырья должна носить комплексный характер, чтобы извлечение одного компонента не приводило к формированию новых отходов производства. На примере переработки шлаков металлургического производства (ОАО «Металлургический завод им. А. К. Серова», ОАО «Ключевский завод ферросплавов», АО «Светогор») проанализированы схемы утилизации шлаков и рекомендации по их использованию. Рассмотрены схемы переработки вскрышных и вмещающих пород от добычи полезных ископаемых Уральского региона, суммарный годовой выход отходов составляет 660 млн т. По каждому промышленному предприятию приведены объемы ТМО, количество перерабатываемых отходов и их использование. Отдельно рассмотрена технология ТМО: шлаков металлургических производств ОАО ММК, ОАО НТМК, ОАО ОХМК, ОАО СУМЗ и других крупных металлургических предприятий Урала. Эту группу ТМО целесообразно перерабатывать комплексно, извлекая попутно благородные и цветные металлы.

Практика утилизации золошлаковых продуктов (глава 4.5) и сырья химической промышленности (глава 4.6) рассмотрена в общем виде, так как невозможно было подробно изложить имеющийся в литературе большой объем проведенных исследований по золошлаковым отходам. Только в Уральском регионе работают 27 тепловых электростанций, сжигающих различные угли: экибастузский, кузнецкий, кизилковский и др. Золы ТЭЦ содержат в своем составе практически все элементы Периодической системы Д. И. Менделеева. Содержание в золах Al_2O_3 сопоставимо с его количеством в бокситах, и при рациональной схеме переработки зола может служить надежным источником получения глинозема, а также других ценных продуктов.

Производство нетрадиционных видов продукции и технология их получения с использованием ТММ рассмотрены в части 5, в которой изложены физико-химические процессы переработки и использования горнблендита, гранодиорита, отходов добычи и обогащения асбеста и шлаков ОАО «Ключевский завод ферросплавов». На конкретных примерах показана возможность и целесообразность использования ТММ при изготовлении некоторых видов продукции: керамики, огнеупоров, заполнителей резины и др.

В части 6 рассмотрены изготовление жаростойких материалов на основе металлургических шлаков доменного и сталеплавильного производств; изложены сведения о жаростойких бетонах на основе шлаков цветной металлургии и ферросплавного производства, а также о промышленных отходах огнеупоров. Основное внимание уделено использованию шлаков в качестве заполнителей и отвердителей бетонов, добавок к цементам, добавок тонкомолотых шлаков к жаростойким бетонам, способствующих формированию структуры жаростойких бетонов, указаны места применения жаростойких бетонов, их свойства. Широкий интервал изменения химического состава, плотности и других параметров шлаков влияет на колебание свойств бетона: прочности, огнеупорности, плотности и др.

Седьмая, заключительная часть книги посвящена экологическим проблемам техногенных образований, отрицательно воздействующих на окружающую среду. С экологических позиций рассмотрены крупнотоннажные техногенные образования горно-металлургического комплекса, теплоэнергетики и др. Сложные экологические проблемы Уральского региона обусловлены главным образом недостаточно совершенными технологиями добычи и переработки сырья. Рассмотрены основные направления и характер воздействия ТММ на природную окружающую среду. Приведена оценка экологического воздействия ТММ предприятий черной (глава 7.2) и цветной (глава 7.3) металлургии, а также предприятий топливно-энергетической отрасли (глава 7.4).

В заключении монографии отмечено, что ТММ могут служить резервом минерально-сырьевой базы Урала, переработка их позволяет улучшить экологическую обстановку в регионе.

Общий библиографический список содержит 352 наименования.

Получено 30.08.13

© Рецензент проф., д. т. н. **И. Д. Кащеев**,
(ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет»), 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



**38-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА
СОВРЕМЕННОЙ КЕРАМИКИ
И КОМПОЗИТОВ**



25–31 января 2014 г.
г. Дейтона-Бич, США

Поздравляем юбиляров

Д. х. н. А. В. Беляков

ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева», Москва, Россия

УДК 06.09:[666.1+666.3]/7+666.9

80 ЛЕТ КАФЕДРАМ, ВЫПУСКАЮЩИМ СИЛИКАТЧИКОВ, В РХТУ им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Статья написана к 80-летию кафедр, готовящих специалистов в области химической технологии силикатов в Российском химико-технологическом университете имени Д. И. Менделеева. Приведены основные события истории и современное состояние кафедр.

В декабре 2013 г. кафедры факультета химической технологии силикатов отмечают свое 80-летие.

23 мая 1898 г. на Миусской площади Москвы состоялась закладка зданий Московского промышленного училища (МПУ). В этом же году в других помещениях были начаты занятия, поэтому эту дату вполне справедливо считать основанием МПУ. Постройка зданий была завершена в 1902 г., а освящение и открытие Московского промышленного училища состоялись 24 февраля 1903 г. В 1918 г. на базе училища был создан Московский химический техникум, которому в 1919 г. было присвоено имя Д. И. Менделеева. Уже в МПУ велась подготовка силикатчиков, в частности специалистов-техников в области керамики для фарфоровой промышленности. В 1920 г. техникум был преобразован в Московский практический химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева (МХТИ). В нем на неорганическом факультете была создана кафедра технологии силикатов, которая начала готовить инженеров-технологов по специальности «Технологии силикатов», т. е. по технологии стекла, керамики и вяжущих материалов. Руководил кафедрой профессор Б. С. Швецов, который по совместительству возглавлял подготовку силикатчиков в МВТУ им. Н. Э. Баумана. Все силикатные кафедры считают свою историю с 1920 г. В 1930 г. кафедру технологии силикатов перевели во вновь организуемый специализированный вуз — Московский институт силикатов и строительных материа-

лов, который располагался на ул. Рождественка, д. 11. В него собрали силикатчиков Москвы и других городов страны и создали отдельные кафедры — технологии стекла, технологии керамики, технологии вяжущих веществ, но в дипломах продолжали писать «инженер-технолог по специальности технологии силикатов». Деканом технологического факультета был академик АН УССР Егор Иванович Орлов, который заведовал кафедрой керамики. В декабре 1933 г. в связи с реорганизацией сети высших учебных заведений постановлением правительства страны кафедра технологии керамики в составе технологического факультета Московского института силикатов и строительных материалов возвратилась в состав Химико-технологического института им. Д. И. Менделеева. На факультете, который получил название «Факультет химической технологии силикатов», были организованы кафедры общей технологии силикатов (заведующий — проф. Борис Сергеевич Швецов), химической технологии стекла (заведующий — проф. Исаак Ильич Китайгородский), химической технологии керамики (заведующий — проф. Егор Иванович Орлов), химической технологии вяжущих веществ (заведующий — проф. Владимир Николаевич Юнг) и кабинет минералогии (заведующий — проф. Николай Николаевич Смирнов).

МХТИ им. Д. И. Менделеева формировали как головной вуз в области химической технологии, концентрируя в нем ученых-химиков всей страны. Им было поручено ру-

ководство учебно-методической работой родственных кафедр страны в области химической технологии. Для силикатчиков этот процесс начался еще в Московском институте силикатов и строительных материалов. Поэтому уже в первые годы существования факультета химической технологии силикатов и его кафедры становятся ведущими в стране в области подготовки специалистов силикатного профиля, а также в области научных исследований и разработки новых технологий силикатных и других тугоплавких материалов. В предвоенные годы на кафедрах факультета создаются первые в нашей стране учебники и учебные пособия для студентов-керамиков, неоднократно переиздававшиеся впоследствии и ставшие классической учебной литературой. Это «Технология керамики и огнеупоров» под ред. П. П. Будникова (1932 г.); «Введение в физическую химию силикатов» О. К. Ботвинкина (1934 г.); «Оборудование фаянсовой промышленности» И. А. Булавина (1936 г.); «Введение в химию кремния» Б. С. Швецова (1937 г.); «Общая технология силикатов» Ю. М. Бутта, М. А. Матвеева и др. (1937 г.); «Печи и сушилки силикатной промышленности» И. А. Гинзбурга и др. (1939 г.).

С 1933 по 1941 г. кафедры факультета выпустили 652 инженера-технолога для силикатной промышленности.

В годы Великой Отечественной войны многие выпускники и воспитанники факультета ушли на фронт. Выпускнику факультета Алексею Федоровичу Воронову было присвоено звание Героя Советского Союза. Лидия Петровна Морозова, Иосиф Яковлевич Гузман, Виктор Львович Балкевич, Сергей Иннокентьевич Сильвестрович, Рафаил Яковлевич Попильский и другие сражались на фронте и награждены многими ор-

денами и медалями. В годы войны не прекращалась учебная и научная работа на кафедрах. В октябре–ноябре 1941 г. МХТИ им. Д. И. Менделеева был эвакуирован в г. Коканд Узбекской ССР. Из преподавателей факультета в эвакуацию выехали Юрий Михайлович Бутт, Тигран Никитович Кешишян, Григорий Николаевич Дудеров, Георгий Георгиевич Сентюрин. В трудных условиях они сумели организовать учебные занятия на факультете и проведение ряда научно-исследовательских работ.

В марте 1942 г. в Москве был открыт филиал института, в котором на силикатном факультете работали две кафедры — технологии керамики и огнеупоров (заведующий — проф. Дмитрий Николаевич Полубояринов, он же выполнял обязанности декана факультета) и технологии вяжущих веществ (заведующий — проф. Владимир Николаевич Юнг). В марте 1943 г. силикатный факультет вернулся в Москву.

В разные годы факультетом руководили деканы Егор Иванович Орлов, Александр Семенович Пантелеев, Борис Сергеевич Швецов, Петр Николаевич Григорьев, Юрий Михайлович Бутт, Дмитрий Николаевич Полубояринов, Николай Михеевич Павлушкин, Иван Анисимович Булавин, Тигран Никитович Кешишян, Владимир Васильевич Тимашев, Маргарита Васильевна Артамонова, Павел Джигбраелович Саркисов, Владимир Григорьевич Савельев, Евгений Степанович Лукин, Алексей Васильевич Беляков. Кафедрами факультета заведовали: кафедрой общей технологии силикатов — Борис Сергеевич Швецов, Михаил Александрович Матвеев, Петр Петрович Будников, Тигран Никитович Кешишян, Маргарита Васильевна Артамонова, Лев Михайлович Сулименко (с 2010 г. — Александр Иванович Захаров); кафедрой стекла — Исаак Ильич Китайгородский, Георгий Георгиевич Сентюрин, Николай Михеевич Павлушкин, Павел Джигбраелович Саркисов (с 2012 г. — Владимир Николаевич Сигарев); кафедрой керамики и огнеупоров — Егор Иванович Орлов, Григорий Николаевич Дудеров, Дмитрий Николаевич Полубояринов, Александр Артемьевич Майер, Анатолий Сергеевич Власов (с 2008 г. — Алексей Васильевич Беляков); кафедрой вяжущих материалов — Владимир Николаевич Юнг, Юрий Михайлович Бутт, Александр Семенович Пантелеев, Владимир Васильевич Тимашев, Валентин Михайлович Кол-

басов, Тамара Васильевна Кузнецова, Александр Павлович Осокин (с 2007 г. — Сергей Павлович Сивков).

Неоценимый вклад в дело развития факультета и кафедр, совершенствование учебной и научно-исследовательской работы внесли преподаватели и научные сотрудники, имена многих из них широко известны среди силикатчиков не только в нашей стране, но и за рубежом. Проф. Степан Герасимович Туманов читал лекции на факультете, работая одновременно научным руководителем Дулевского красочного завода. По просьбе работников завода его именем названа улица в г. Ликино-Дулево. Имя П. П. Будникова присвоено Всесоюзному научно-исследовательскому институту строительных материалов. Ученые факультета и его выпускники — основатели многих научных школ. За выдающиеся работы в разных областях химии и технологии силикатов звания лауреатов Ленинской и Государственной премий были удостоены Петр Петрович Будников, Исаак Ильич Китайгородский, Николай Михеевич Павлушкин, Владимир Николаевич Юнг, Михаил Самойлович Негинский, Павел Джигбраелович Саркисов, Тамара Васильевна Кузнецова, Анатолий Сергеевич Власов. Трое крупных ученых-силикатчиков были избраны в состав АН СССР — члены-корреспонденты АН СССР П. П. Будников, Е. И. Орлов, В. В. Тимашев. П. Д. Саркисов стал первым в истории академиком РАН с базовым образованием по технологии силикатов.

Студентом силикатного факультета, перешедшим в конце четвертого курса на только что созданный физико-химический факультет, был Геннадий Алексеевич Ягодин — член-корреспондент АН СССР, бывший ректор МХТИ им. Д. И. Менделеева, министр высшего и среднего специального образования СССР, председатель государственного комитета СССР по народному образованию. Воспитанник факультета академик Павел Джигбраелович Саркисов возглавил в 1986 г. МХТИ им. Д. И. Менделеева, а с 2005 до 2012 г. являлся президентом Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева.

На факультете всегда большое внимание уделялось повышению квалификации преподавателей и научных сотрудников. За 80 лет существования кафедр воспитанниками факультета защищено около 500 кандидатских и 62 докторских диссертаций.

На факультете химической технологии силикатов подготовлено около 5700 инженеров в области химии и технологии силикатов, в том числе большой отряд специалистов (417 инженеров и 56 кандидатов наук) для многих стран Европы, Африки, Азии и Америки. Подавляющее большинство выпускников факультета достойно трудится в различных отраслях народного хозяйства, в сфере промышленности и науки. Среди них лауреаты Ленинской и Государственной премий, заслуженные деятели науки и техники, орденосцы. Выпускники факультета возглавляют многие научно-исследовательские институты, заводы, производственные объединения, государственные учреждения, возглавляют и входят в редакции основных журналов по силикатным специальностям. Они сохраняют тесную связь с факультетом и кафедрами, принимают участие в государственных экзаменационных комиссиях, диссертационном совете факультета.

Большие достижения имеют кафедры факультета в научно-исследовательской работе. На факультете были созданы многие новые технологии и материалы для различных областей народного хозяйства. Учеными факультета впервые получены и внедрены в промышленность такие теперь широко известные материалы, как карбонатные, гидротехнические и новые виды расширяющихся и расширяющих цементов, ангидритовый цемент, алюмомагнезиальные стекла, пеностекло, микролит, ситаллы и шлакоситаллы, сигран, новые виды оксидной и безоксидной керамики, карбидкремниевые и хромитлантановые нагреватели, высокоэффективные композиционные материалы и многое другое. Примечательно, что сами названия многих современных материалов вошли в обиход, родившись на силикатном факультете.

С 1995 г. на факультете работал высший колледж «Технический дизайн изделий из силикатных материалов», преобразованный в 2011 г. в научно-образовательный центр под таким же названием. Руководит им заведующий кафедрой общей технологии силикатов Александр Иванович Захаров. Колледж выпускал технологов с художественной подготовкой, которые умеют изготавливать красивые и технологичные изделия из стекла, керамики и вяжущих материалов с использованием современных компьютерных про-

грамм и технологий декорирования. Такие изделия обладают высокой конкурентоспособностью на современном рынке. На учебно-методической базе высшего колледжа в 2011 г. было открыто новое для РХТУ направление — технология художественной обработки материалов.

В мае 2007 г. на базе факультета химической технологии силикатов был создан Институт высокотемпературных материалов и технологий (ИВМТ), что позволило объединить усилия кафедр для решения современных задач, стоящих перед нашей высшей школой и наукой. Этому способствовала единая специальность, которую получают выпускники входивших в него кафедр.

Кафедра химической технологии стекла и ситаллов занимается созданием и совершенствованием технологий стекол, ситаллов и шлако-ситаллов, синтезом и исследованием стекол и ситаллов со специальными свойствами, в частности сегнетоэлектрическими, исследованием процессов упрочнения стекла, разработкой стеклоприпоев для пайки металлов, применением золь-гель методов для синтеза высокочистых силикатных люминесцентных материалов и стеклообразных покрытий на металлах, созданием биоактивных стеклокерамических материалов для имплантатов костей.

В 2010 г. на базе кафедры химической технологии стекла и ситаллов создана Международная лаборатория функциональных материалов на основе стекла, которую возглавляет известный ученый в области физико-химии стекла профессор Альберто Мариа Феличе Палеари (Alberto Maria Felice Paleari) из университета Милана-Бикокка (Италия). Особенностью лаборатории является многопрофильность исследований, направленных на решение разнообразных наукоемких задач в области физико-химии и технологии стекла во взаимодействии с ведущими научными лабораториями мира. Деятельность лаборатории осуществляется в первую очередь силами молодых специалистов — выпускников факультета с привлечением студентов старших курсов и аспирантов. В настоящее время лаборатории присвоено имя ректора и президента РХТУ академика П. Д. Саркисова, более 25 лет возглавлявшего кафедру химической технологии стекла и ситаллов.

Кафедра химической технологии керамики и огнеупоров занимается исследованием процесса бактериальной обработки сырья и керамических масс, созданием технологий высокопрочных керамических материалов на основе Al_2O_3 , в том числе с температурой спекания до $1450^\circ C$, прозрачной керамики на основе Sc_2O_3 , Y_2O_3 , золь-гель методом гидролиза алкоксидов для получения прозрачной керамики из Al_2O_3 со светопропусканием 94 %, золь-гель методом при огеливании солей в поливинилом спирте для синтеза простых и сложных оксидов: Al_2O_3 , $MgAl_2O_4$, Mg_2SiO_4 , разработкой технологии керамических нагревателей из SiC и $LaCrO_3$, высокотемпературной теплоизоляции для лабораторных печей с рабочей температурой $1800^\circ C$, разработкой теоретических основ формования заготовок сложной формы из керамических масс и выбора композиций для водорастворимых технологических связок, высокотеплопроводной керамики на основе BN и AlN с низким уровнем диэлектрических потерь, прочной керамики из гидроксипатита для лицевой хирургии, комплексной переработкой рисовой шелухи в различные керамические материалы, в том числе SiC и Si_3N_4 , разработкой высокопрочной керамики в системе $Al_2O_3-ZrO_2$, технологии оксидной керамики на основе Al_2O_3 и ZrO_2 с пониженной температурой спекания путем использования эвтектических добавок, керамикой для броневых материалов, керамикой для авиации и космонавтики, керамическими высокопористыми ячеистыми материалами для катализаторов, фильтров и теплоизоляции, высокопористыми ячеистыми материалами (ВПЯМ) из керамики для различных областей использования, применением основных положений синергетики в технологии керамики.

Кафедра химической технологии композиционных и вяжущих занимается исследованием физико-химических процессов синтеза и твердения новых видов вяжущих материалов, исследованием кинетики и катализа процессов спекания цементного клинкера, разработкой теоретических основ науки и технологии напрягающих и расширяющихся цементов, тампонажных цементов, вяжущих для дорожных покрытий, созданием высокоэффективных пластификаторов для цементных рас-

творов и бетонов и т. д. На базе кафедры создан Научно-технический центр, оснащенный современными приборами. Центр тесно связан с цементной отраслью России, выполняет исследования по разработке новых композиционных материалов, проводит повышение квалификации работников цементных заводов.

Кафедра общей технологии силикатов обучает студентов всех трех кафедр, которые готовят силикатчиков, и проводит научные исследования во всех областях технологии силикатов. Среди перспективных работ сотрудников кафедры можно выделить исследования, посвященные синтезу сложных оксидов, разработке поглощающих и пористых материалов на основе силикатов, получению декоративных материалов из отходов промышленности. В настоящее время кафедра выпускает бакалавров по специальности «Технология художественной обработки материалов», развивая исследования в области технологий компьютерного проектирования и прототипирования.

Много внимания кафедры уделяют решению экологических проблем: созданию более экологически чистых технологий силикатных изделий, использованию силикатных материалов для решения экологических задач (керамические мембраны, носители катализаторов и т. д.), применению отходов промышленности, в том числе многотоннажных, для производства строительных материалов, захоронению вредных отходов в силикатных материалах.

С 2011 г. на кафедрах, как и во всем университете, осуществлен переход на двухступенчатую систему подготовки — бакалавр – магистр.

В апреле 2012 г. ИВМТ был объединен с факультетом технологии неорганических веществ с образованием нового факультета технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов (ТНВиВМ). Таким образом, силикатчики вновь объединились с неорганиками, как это было в нашем вузе с 1920 по 1930 г.

Славный 80-летний юбилей кафедры факультета ТНВиВМ, выпускающие силикатчиков, встречают новыми успехами в учебной и научной деятельности и с оптимизмом смотрят в будущее.

Получено 26.10.13
© А. В. Беяков, 2013 г.

Пресс-релиз

УДК 666.97

II ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ БЕТОНА

30 октября 2013 г. в гостинице «Золотое кольцо» Управления делами Президента РФ состоялась II Всероссийская конференция производителей бетона, организованная группой компаний «Полипласт». Генеральным спонсором форума, как и годом ранее, выступил Межрегиональный испытательный центр (МИЦ), специализирующийся на проверке качества строительных материалов, различных изделий и готовых конструкций на территории России.

Партнерами конференции стали: «Группа компаний BESTO» (Москва) и ЗАО «Пласт-Рифей» (Челябинск). Информационное сопровождение на условиях партнерства осуществляли известные отраслевые издания: «Вестник РСС»; «Строительная орбита»; «Технология бетонов»; «Мир строительства и недвижимости»; «Алитинформ»; «Строительные материалы»; «Новые огнеупоры»; «Федеральный Строительный Рынок», «Время Инноваций», а также интернет-журналы «Бетон.ru» и «Строительство.ru».

В обсуждении последних достижений и главных новостей в области технологий производства бетона и ЖБИ, контроля их качества, нормативно-документной базы, а также в ознакомлении с последними разработками компании «Полипласт» приняли участие представители почти сотни отечественных институтов и промышленных компаний, являющихся ведущими исследовательскими центрами и производителями товарного бетона и ЖБИ в России, лидерами в области специального строительства (мостостроения, тоннелестроения, строительства аэропортов, АЭС и др.). Среди них: ГК СУ-155; холдинг «Строймаш-Вибропресс»; ОАО «Мостотрест»; ЗАО «Штрабаг»; группа «Лафарж»; ОАО «БэтЭлТранс»; ЗАО «Евробетон»; МГСУ; РГСУ; НИИЖБ и многие другие.

На правах организатора первым перед собравшимися выступил директор московского филиала ООО «Полипласт Новомосковск» А. Паламарчук. Он поблагодарил участников за проявленный к встрече интерес и выразил уверенность, что предстоящая дискуссия окажет позитивное влияние на характер деловых отношений, складывающихся между представленными компаниями и их партнерами.

Большой интерес слушателей вызвал последовавший затем доклад заведующего лабораторией



Президиум конференции

технологии бетонов НИИЖБ, канд. техн. наук М. И. Бруссера, в котором он озвучил основные тенденции развития современной системы нормативной документации в отрасли бетонного производства. В частности, он обратил внимание на часто возникающие противоречия, с которыми приходится сталкиваться заказчикам и поставщикам товарного бетона из-за неверно прописанных в договорах его свойств и характеристик, подразумевающих под собой ссылки на определенные правила и стандарты. Докладчик представил подробный анализ обновленных стандартов и наглядно показал последовательность формирования полноценных двусторонних документов, которые помогут быстро найти истину при разбирательствах в арбитражном суде.

С аналитическим обзором строительной отрасли РФ и московского региона перед участниками выступил начальник отдела стратегического развития, канд. хим. наук В. Машутин. Он рассказал и показал на графиках, что происходит в настоящее время на отечественном рынке цемента и бетона, дал сравнительную характеристику объемов их производства и транспортировки по годам, регионам и странам, представив в заключение основные тенденции развития данной отрасли на ближайшие годы.

Опытом применения современной строительной химии поделился с коллегами заслуженный строитель РФ В. Г. Кениг. Выступая, он еще раз отметил, что отечественная строительная индустрия за последние годы шагнула далеко вперед, и подвиг

ла ее к тому именно химия. Практик дал высокую оценку деятельности компании «Полипласт», особенно в направлении поиска новых составов добавок для придания новых, неизвестных свойств давно известному сырью и материалам.

Именно о таких свойствах поведал участникам форума директор Института материаловедения и эффективных технологий, доктор химических наук, академик РАН М. Я. Бикбау. Опытным путем он и его коллеги установили, что использование нафталинсульфонатных добавок, которые производятся на заводах компании «Полипласт», дает потрясающий эффект в технологии производства цемента. Итогом исследований ученого стало создание промышленной установки по производству наноцемента, использование которого способно совершить настоящую революцию не только в отечественной, но и в мировой стройиндустрии. К сожалению, как отметил докладчик, отрасль сегодня просто не готова принять на вооружение данное достижение, поскольку оно требует полного пересмотра сложившихся за многие десятилетия взглядов на использование в строительстве полезных ископаемых планеты.

Доцент кафедры «Технологии строительного производства и строительных материалов» Харьковского национального университета городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, доктор-инженер О. Н. Болотских представил на суд коллег обширную лекцию на тему самоуплотняющихся бетонов и методов их испытаний.

Завершило лекционную часть программы конференции выступление генерального директора ООО МИЦ Л. И. Алебастровой, в котором известный исследователь обратилась к наиболее актуальным вопросам, связанным с методиками испытаний и проверкой качества железобетонных изделий.

Для тех, кого больше интересовала практика, наглядно демонстрировалось действие добавок Криопласт ПК и Торкрет, а также средств ухода за бетоном Эгида, средств удаления бетона и ржавчины АРЖ, смазок производства ООО «Полипласт Но-



В зале заседаний

вомосковск». Перед этим за круглым столом заведующий лабораторией технологии бетонов НИИЖБ М. И. Бруссер более детально обсудил с заинтересованными участниками проблемы строительства в части нормативной документации, а начальник отдела испытаний ООО МИЦ А. И. Гальцев рассказал о современных методах неразрушающего контроля при обследовании зданий и сооружений.

Было заявлено, что главной задачей конференции ставится обсуждение опыта применения новейших технологий в производстве бетонов и железобетонных изделий и анализ основных факторов, влияющих на качество и потребительские свойства бетонов. С этой задачей организаторы, безусловно, справились. Благодаря участию консультантов и экспертов из разных компаний участники смогли получить исчерпывающие ответы на наиболее волнующие вопросы и сделать выводы о целесообразности применения тех или иных методик. В своих комментариях после завершения работы многие участники форума выражали благодарность компании за высокий уровень организации и чрезвычайно конструктивную профессиональную дискуссию.

Полипласт-инфо

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

MINERALS METALS METALLURGY & MATERIALS
10th International
Exhibition + Conference
2014
Thu 4th - Sun 7th September 2014
Pragati Maidan, New Delhi, India
www.mmm-m-e-x-p-o-s-o-m

**10-я международная выставка-конференция
 «Minerals, Metals, Metallurgy & Materials» —
 MMM-2014**

4–7 сентября 2014 г.
 г. Нью-Дели, Индия

<http://ural-cci.ru/activities/>

СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ «НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ» В 2013 г.

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
<i>Поздравляем юбиляров</i>		
К 75-летию Юрия Дмитриевича Сагалева	1	72
К 75-летию Юрия Ефимовича Пивинского	2	28
75 лет профессору Евгению Степановичу Лукину	7	26
К 60-летию Владимира Анатольевича Можжерина	8	3
К 75-летию Аскольда Рафаиловича Бекетова	10	69
К 70-летию Евгения Ивановича Суздальцева	11	30
<i>Victoria Garten Hüttenindustriebedarf AG — 20 лет</i>		
VGH — сказка из огня и стали.....	4	7
Александр М., Гартен В. От планов — к действию! Проведение компанией «Riverside Refractories & Equipment LLC» испытаний, направленных на изучение легкости открытия леток методами бурения и абразивным способом.....	7	9
Аленин А. VGH AG: профессионалы в авангарде огнеупорного рынка Украины. Становление на рынке....	4	13
Гартен В., Хохлов А., Уссельманн В., Фомина И. Концепция модернизации участка подготовки сталеразливочных ковшей: внедрение и развитие эксплуатации монолитной футеровки, комплекс технологического оборудования.....	4	34
Горосткин С. В., Гартен В. Внедрение системы автоматической подачи смеси в кристаллизатор на машины непрерывного литья заготовок.....	4	39
Уссельманн В., Шехан К. Theramer — команда, ведущая к успеху.....	4	10
Хильгенхёнер Э. Х., Вош Э. А. Т. Применение программного обеспечения MouldScreen® в промышленности: первые испытания новой системы визуализации состояния шлаковой пленки на слябовой МНЛЗ...	4	24
Экхардт Г.-Д. Механизм очистки стали от неметаллических включений в раскисленных алюминием сталях.....	4	16
<i>К 20-летию ВПО «Сталь»</i>		
Съёмщиков Н. С., Кондрукевич А. А., Бельмаз К. Н., Минаев Я. А. Разработка футеровки сталеразливочных ковшей (обзор опыта работы).....	7	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ (14–15 МАРТА 2013 г.). ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ		
<i>Общие вопросы</i>		
Беляков А. В., Церман С. И. Унификация сегментов для резания огнеупоров и разработка универсальных отрезных кругов.....	3	15
Бураков А. Д., Зима М., Коварская Е. З., Москоуенко И. Б. Разработка рекомендаций по контролю акустическим методом качества огнеупорных изделий на основе периклаза, в том числе периклазоуглеродистых.....	3	16
Вакалова Т. В., Митина Н. А., Погребенков В. М. Перспективы использования российского огнеупорного сырья для создания наукоемких технологий инновационных силикатных и оксидных материалов.....	3	16
Гартен В. Комплектация и оснащение технологического участка заделки монолитной футеровки сталеразливочных ковшей металлургического предприятия.....	3	19
Герасимов В. Ф., Журавлёв В. В. Новые возможности в обработке огнеупоров алмазным инструментом.....	3	19
Домолазов И. В., Ерошин М. А. Система менеджмента качества ООО «Группа «Магнетит».....	3	20
Козелкова И. И. ТК 009 «Огнеупоры». Стандартизация в Российской Федерации.....	3	21
Небген П., Небген Г., Клаас Т., Хенгесбах Д., Серебрякова Р. Vhi — надежный партнер в огнеупорном строительстве.....	3	21
Очагова И. Г. Огнеупорная промышленность мира: китайский фактор.....	3	22
Перепелицын В. А. Классификация материалов по составу, генезису и организации вещества.....	3	22
Тимошенко Д. А. Сушка футеровки тепловых агрегатов.....	3	24

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Турчин М. Ю. Футеровка конвертера и комплекс мер ухода за ней в процессе работы.....	3	24
Турчин М. Ю., Долгих С. В. Группа «Магнезит» проектирует и выполняет футеровку методических и термических печей прокатного производства.....	3	25
<i>Сырьевые материалы</i>		
Баранов А. П., Назмиев М. И., Котровский В. Н., Урванцев А. И., Урванцев И. А. Новая технология обогащения магнезитового забалансового сырья.....	3	26
Бейлина Н. Ю., Липкина Н. В., Петров А. В. Особенности применения пеков из каменноугольных смол в производстве графитовых изделий.....	3	26
Вакалова Т. В., Крашенинникова Н. С., Карионова Н. П., Абилябаева Н. К. Влияние природы кремнеземистого сырья на твердофазный синтез волластонита.....	3	27
Вакалова Т. В., Крашенинникова Н. С., Решетова А. А., Говорова Л. П., Токарева А. Ю. Повышение плотности алюмосиликатной керамики на основе огнеупорного глиносодержащего сырья.....	3	28
Завёрткин А. С. Перспективы производства футеровочных масс на основе карельского минерального сырья.....	3	28
Завёрткин А. С. Применение кварцевых и кварц-полевошпатовых песков для песчано-цементных смесей при изготовлении отливок сушильных цилиндров.....	3	29
Кийк А. А., Маркова С. В., Кормина И. В., Маркова Ж. С. Применение полимеров в производстве металлургических брикетов.....	3	29
Михеенков М. А. Переработка металлургических шлаков с высоким содержанием оксидов железа..	3	30
Перепелицын В. А., Дунаева М. Н., Максунев К. А., Царев В. Ю. Микрокремнезем — полифункциональное техногенное минеральное сырье.....	3	32
Перепелицын В. А., Рытвин В. М., Хватов А. В., Абызов В. А., Абызов А. Н. Техногенный материал алюминотермического производства ферромолибдена.....	3	32
Пономаренко А. А., Кормина И. В., Маркова С. В. Применение инновационных связующих добавок серии Термопласт СВ в технологии агломерации.....	3	33
Соколов В. А., Махов С. В. Перспективы развития сырьевой базы для производства цирконистых огнеупоров в России.....	3	34
Шарапова В. В. Актуальные вопросы использования шлама нормального электрокорунда при производстве алюмосиликатных огнеупоров.....	3	35
Шаяхметов У. Ш., Мурзакова А. Р., Шаяхметов Р. У., Гончаренко Е. А., Мустафин А. Г. Изменение структуры пиррофиллитового сырья при термообработке.....	3	36
<i>Производство огнеупоров</i>		
Абызов В. А., Абызов А. Н., Абрамов А. К., Рытвин В. М., Перепелицын В. А., Хватов А. В. Сухие смеси для жаростойких бетонов на основе плавленных высокоглиноземистых цементов и заполнителей алюминотермического производства.....	3	37
Аксельрод Л. М., Донич Р. А., Лаишевцев Е. Б., Михайлов Е. В. Виброформованные огнеупорные изделия для различных областей применения.....	3	37
Аксельрод Л. М., Назмиев М. И., Коротеев С. А. Флюсы магнезиальные брикетированные универсального применения.....	3	38
Аксельрод Л. М., Назмиев М. И., Марченко Д. А. Торкрет-массы периклазового состава для горячего ремонта конвертеров и электропечей.....	3	38
Аксельрод Л. М., Пицик О. Н., Устинов В. А., Кузнецова Н. Е. Совершенствование периклазошпинельных огнеупоров для вращающихся печей обжига цементного клинкера.....	3	39
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Овсянников В. Г. Опыт использования периклазошпинелидных огнеупоров ООО «Группа «Магнезит» в циркуляционных вакууматорах № 1 и 2 ККЦ ОАО ММК.....	3	39
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Смертин В. В. Основные направления совершенствования технологий производства углеродсодержащих огнеупоров в ОАО «Комбинат «Магнезит».....	3	40
Андреев В. П. Опыт работы прессованной безуглеродистой футеровки на предприятиях КНР.....	3	43
Вериковский В. Ю., Турчин М. Ю., Ильянкин А. В. Сухие массы и шаблон для изготовления рабочего слоя футеровки промежуточного ковша производства ООО «Группа «Магнезит».....	3	43
Воронина О. Б., Мелихов А. А., Полубесов С. Г., Агишева М. В., Власов А. В., Помазков Т. В. Производство изделий методом виброформования и их эксплуатация.....	3	43
Ганькин Д. В., Турчин М. Ю. Опыт применения огнеупорных масс для набивки тиглей индукционных печей.....	3	44

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Дикарёва Р. И., Коротеев С. А., Фалько Г. А., Макаренко А. Г. Огнеупорные материалы для ухода за футеровкой кислородных конвертеров.....	3	44
Донич Р. А., Данилова Ю. В., Язовских Д. Ю. Бетоны для футеровки тепловых агрегатов цементной промышленности.....	3	47
Можжерин А. В., Маргишвили А. П., Филин Г. В., Мусевич В. А., Дука А. П. Огнеупоры ОАО БКО для футеровки сталеразливочных ковшей и конвертеров ОАО НЛМК.....	3	47
Пицик О. Н., Найман Д. А., Турчин М. Ю., Беспалова И. Г. Теплоизоляционные огнеупоры для футеровки печей периодического действия.....	3	48
Пишек Ш. Новые оксикарбидные огнеупорные бетоны производства RHI и их применение....	3	48
Смертин В. В., Назмиев М. И., Пospelова Е. И., Ильянкин А. В., Баранов П. А. Увеличение производственных мощностей ООО «Магнезит-торкрет-массы».....	3	51
Смертин В. В., Пицик О. Н., Беспалова И. Г. Периклазофорстеритовые огнеупоры для регенераторов стекловаренных печей.....	3	51
Турчин М. Ю., Назмиев М. И., Ганькин Д. В., Алтынбаева Е. С. Опыт применения огнеупорных масс для набивки тиглей индукционных печей.....	3	52
Чашкин М. А., Иванцов М. В. Поиск путей совершенствования футеровок сталеразливочных ковшей...	3	52
Ярушина Т. В., Дикарева Р. И., Калашник И. В., Акбашев В. А., Макаренко А. Г. Периклазоуглеродистые изделия производства ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод».....	3	53
<i>Оборудование для современных процессов производства огнеупоров</i>		
Головко А. Г., Гордеев Е. И., Золотухин В. И., Провоторов Д. А. Сталеразливочные системы для металлургических и литейных производств.....	3	53
Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Симисинов Д. И., Курочкин В. А. Разгрузка контейнеров контейнерного пневмотранспорта сегодня, пневмотранспорт завтрашнего дня.....	3	54
Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Симисинов Д. И., Панов Д. А. Проблемы использования пневмовинтовых насосов.....	3	55
Московчук В. Футеровочный телескоп ТБР для безопасной и быстрой футеровки конвертера.....	3	56
Потапов В. Я., Давыдов С. Я., Потапов В. В. Использование фрикционных сепараторов для выделения твердых включений из глинозёмов.....	3	57
Прибора В. Н. Современный рентгеновский анализ в огнеупорной промышленности.....	3	57
Рукавицын А. В., Мирошников В. Е., Туров М. Г. Кирпичные заводы полусухого прессования нового поколения.....	3	60
Спицин А. С. Современное футеровочное оборудование компании «Bricking Solutions» для черной и цветной металлургии.....	3	60
<i>Научные исследования и разработки</i>		
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Маряев И. Г. Оптимизация поровой структуры хромитопериклазовых изделий ответственного назначения.....	3	61
Белогурова О. А., Саварина М. А., Шарай Т. В. Термостойкие огнеупоры из кианитовой руды Кейвского месторождения.....	3	61
Буцык О. В., Хабас Т. А., Качаев А. А., Хасанов А. О. Исследование влияния качества порошкового карбида кремния на спекание керамического материала.....	3	62
Вакалова Т. В., Говорова Л. П., Токарева А. Ю. Новая минерализующая добавка для твердофазного синтеза муллита и спекания муллитовой керамики из оксидов.....	3	63
Вакалова Т. В., Крашенинникова Н. С., Карионова Н. П., Абилябаева Н. К. Высокопористые диатомитсодержащие керамические материалы на волластонитовой связке.....	3	63
Гайдайчук Е. В., Хабас Т. А., Рубцова М. В. Влияние добавок соединений переходных элементов на свойства плотноспеченного керамического материала на основе смеси оксидов.....	3	64
Гуламова Д. Д., Ускенбаев Д. Е., Турдиев Д. Ш., Бобокулов С. Х., Шевченко В. П., Токунов С. Г., Ким Р. Б. Синтез керамических материалов с использованием солнечной энергии.....	3	67
Данилова О. Ю., Довгаль А. Н., Лукин А. В., Юрков А. Л., Дороганов В. А., Зарубина О. В., Евтушенко Е. И., Перетокина Н. А. Получение и исследование искусственных керамических вяжущих на основе карбида кремния, их модифицирование и изучение закономерностей изменения их свойств.....	3	67
Демидова-Буйзинене И., Пундиене И., Пранцкевичене Я., Жвирунайте Я. Исследования механизма развития прочности в процессе сушки в среднецементных бетонах с дефлокулянтами различного типа.....	3	68
Демидова-Буйзинене И., Пундиене И., Стонис Р., Клигис М., Кичайте А. Влияние композиционного дефлокулянта в среднецементных бетонах на изменение физико-механических характеристик в процессе термообработки.....	3	70

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Задорожная О. Ю., Тиунова О. В., Хабас Т. А. Получение плотной композитной керамики на основе оксидов алюминия и циркония методом осевого прессования.....	3	70
Земляной К. Г., Кащеев И. Д., Михеенков М. А. Особенности синтеза клинкеров цементов в присутствии метастабильных фаз.....	3	71
Кажикенова С. Ш. Новые технологии получения огнеупорных материалов.....	3	71
Кащеев И. Д., Земляной К. Г., Маркова С. В., Кормина И. В. Комплексные добавки для цементных огнеупорных бетонов.....	3	72
Кащеев И. Д., Полухин М. С. Повышение качества магнезиальнокварцевой керамики.....	3	73
Кащеев И. Д., Полухин М. С. Стабилизация магнезиальнокварцевого шликера.....	3	73
Кащеев И. Д., Поморцев С. А., Мурашко Е. В., Борисова Ю. А. Формирование структуры и свойств периклазоуглеродистых изделий для сталеразливочных ковшей ОАО ММК.....	3	74
Конаков В. Г., Голубев С. Н., Новик Н. Н., Пивоваров М. М., Ушаков В. М. Применение мембран из наноразмерной керамики на основе диоксида циркония в высокотемпературных топливных элементах...	3	75
Конаков В. Г., Курапова О. Ю., Голубев С. Н., Ушаков В. М. Взаимосвязь методики синтеза, фазообразования и дисперсности порошков прекурсоров керамики на основе стабилизированного диоксида циркония.....	3	75
Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Красный А. Б. Исследование поровой структуры корундовой керамики, спеченной при различных температурах, методом рентгеновской микротомографии.....	3	76
Кутузов С. В., Буряк В. В., Деркач В. В., Панов Е. Н., Карвацкий А. Я., Васильченко Г. Н., Лелека С. В., Чирка Т. В., Лазарев Т. В. Повышение эффективности теплоизоляционной шихты печей графитации Ачесона.....	3	76
Лукин Е. С., Милявский В. В., Савиных А. С., Акопов Ф. А., Бородин Т. И., Боровкова Л. Б., Вальяно Г. Е., Попова Н. А., Ананьев С. Ю., Валуев А. В. Фазовые превращения в керамике из частично стабилизированного диоксида циркония при механическом, ударно-волновом и термическом воздействии.....	3	79
Лукин Е. С., Попова Н. А., Павлюкова Л. Т., Акопов Ф. А., Боровкова Л. Б., Морозов Б. И., Преображенский В. С., Безлепкин В. А., Голубев Д. В. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы для экстремально высоких температур службы.....	3	80
Лысова Г. А., Боровик С. И., Чукай А. М. Кинетика термической деструкции модифицированных технических лигносульфонатов.....	3	80
Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Карпец Л. А., Федоровцева А. В. Влияние термообработки на термостойкость плавящего корунда и шпинели.....	3	81
Примаченко В. В., Казначеева Н. М., Крахмаль Ю. А., Криворучко П. П. Влияние добавки глинозема на термостойкость волластонитовых легковесных изделий.....	3	82
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Савина Л. К. Корундовые огнеупоры с добавкой ферросилиция на сиалонсодержащей связке для футеровки элементов тепловых агрегатов...	3	82
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Солошенко Л. Н., Щербак Л. М. Исследование влияния вида алюмомагнезиальной шпинели на свойства сухой корундошпинельной смеси для футеровки индукционных тигельных печей.....	3	83
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В., Грицюк Л. В., Ткаченко Л. П. Муллитовые, муллитокорундовые, муллитокорундоцирконовые огнеупоры производства ПАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного» для стекловаренных печей.....	3	83
Прошкин А. В., Михалёв Ю. Г., Пингин В. В., Исаева Л. А. К вопросу о механизме повреждения бортовой SiC футеровки современных электролизеров.....	3	84
Семченко Г. Д., Шутеева И. Ю., Питак Я. Н. Повышение защитного действия корундового покрытия за счет создания самоармированного наночастицами β -SiC и иглами муллита барьерного подслоя.....	3	84
Соков В. Н., Соков В. В. О гидродинамическом процессе фильтрационного влагопереноса в самоуплотняющихся массах.....	3	87
Суворов С. А., Арбузова Н. В. Инновационный шпинельный материал и огнеупоры из него.....	3	88
Суворов С. А., Застрожных М. Н. Оптимизация бетона на основе композиций корунда и карбида кремния.....	3	88
Суворов С. А., Козлов В. В. Шлаковая коррозия периклазоуглеродистого огнеупора в футеровке кислородного конвертера.....	3	89
Суворов С. А., Козлов В. В., Вихров Е. А. Устойчивость оксидных и карбонированных огнеупоров к воздействию расплавов ШОС.....	3	89
Суворов С. А., Фищев В. Н., Игнатьева А. Н. Устойчивая к термонагрузениям структура и свойства высокоглиноземистых материалов.....	3	90
Тиунова О. В., Задорожная О. Ю., Хабас Т. А. Керамические материалы из диоксида циркония, полученные методом пленочного литья.....	3	90

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Тогобицкая Д. Н., Хамхотыко А. Ф., Циватая Н. А., Степаненко Д. А. Влияние щелочесодержащих шлаков на разрушение футеровки доменной печи.....	3	91
Турдиев Д. Ш., Гуламова Д. Д., Шевченко В. П. Текстура и свойства анизотропных керамических материалов, синтезированных в солнечной печи.....	3	92
Хабас Т. А., Гайдайчук Е. В., Рубцова М. В., Колесова Т. В. Изучение влияния компонентного состава и способа подготовки исходных материалов на свойства муллитокорундовой керамики.....	3	92
Шмурадко В. Т., Роман О. В., Судник Л. В., Киршина Н. В. Керамическая воронка для дозирования алюминиевых расплавов в кристаллизатор.....	3	93
<i>Огнеупоры в тепловых агрегатах черной и цветной металлургии</i>		
Абызов В. А., Абызов А. Н., Рытвин В. М., Перепелицын В. А., Хватов А. В. Легкие жаростойкие бетоны на вяжущих алюминотермического производства и пористых заполнителях.....	3	94
Абызов В. А., Ряховский Е. Н. Огнеупорные фосфатные клеи на основе дисперсных высокоглиноземистых промышленных отходов.....	3	95
Бажин В. Ю., Патрин Р. К., Фещенко Р. Ю. Повышение стойкости угольной подины высокоамперного электролизера.....	3	96
Бажин В. Ю., Фещенко Р. Ю., Патрин Р. К., Саитов А. В. Разрушение бортовой футеровки высокоамперного электролизера в пусковой период.....	3	96
Бурмистрова Е. В., Абдрахманов Р. И., Игонин А. Ю. Огнеупорные материалы для вакууматоров ОАО ММК и основные направления повышения их эксплуатационной надежности.....	3	97
Вебстер Э. Развитие и преимущества аргонных продувочных пробок типа BlueLine производства компании RA-NA-GE.....	3	97
Гудовских П., Парр К., Вохмаер К. Применение глиноземистых цементов Secag в плотных и теплоизоляционных огнеупорных бетонах.....	3	97
Гумаров Р. Х., Астанина Г. И., Кузнецова Т. В., Кривобородов Ю. Р. Опыт применения бетонных смесей ООО «Консолит».....	3	99
Зотов Д. В., Гареев Р. Р., Белоусов А. М., Зырянов А. Г., Касьяненко Д. В. Повышение серийности разливки промежуточных ковшей сортовой МНЛЗ ККЦ до 100 плавов.....	3	99
Калугин К. А., Мишутин М. П. Опыт применения инновационных теплоизоляционных материалов компании «Promat» в металлургии.....	3	100
Кондрукевич А. Комплексный подход к разработке футеровки сталеразливочных ковшей.....	3	101
Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Карпец П. А., Остряков Л. В. Испытание магнезиальношпинелидных огнеупоров в медеплавильной печи.....	3	101
Прошкин А. В., Левенсон С. Я., Пингин В. В., Морозов А. В., Ярош И. А. Новая технология монтажа неформованных материалов в катодных устройствах электролизеров компании РУСАЛ....	3	102
Соколов В. В., Аксельрод Л. М., Сигута Ю. Н., Рогачёв М. С., Дудин В. В., Щипанов С. С., Календа А. В., Оржих М. Б., Чекалов В. В., Рехтин И. В., Ильянкин А. В. Опыт увеличения стойкости футеровки конвертеров ККЦ-1 ОАО ЕВРАЗ ЗСМК.....	3	103
Фехнер Р. Концепция огнеупорных материалов промежуточного ковша для производства чистого металла...	3	103
Аксельрод Л. М. Развитие огнеупорной отрасли — отклик на запросы потребителей.....	3	107
ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ		
Бурмистрова Е. В., Абдрахманов Р. И., Игонин А. Ю. Огнеупорные материалы для вакууматоров ОАО ММК и основные направления повышения их эксплуатационной надежности.....	8	4
Вдовин К. Н., Марочкин О. А., Точилкин В. В. Создание имитатора рабочей среды для повышения износостойкости огнеупоров при разливке стали на сортовых МНЛЗ.....	11	10
Вислогузова Э. А., Кашеев И. Д., Земляной К. Г. Анализ влияния качества периклазоуглеродистых огнеупоров на стойкость футеровки конвертеров.....	3	129
Волков К. В., Кузнецов Е. П., Анашкин Н. С., Долгих О. В., Смирнов С. Н. Использование флюсов в 130-т сталеразливочных ковшах.....	3	123
Демидов К. Н., Витушенко М. Ф., Смирнов Л. А., Золин А. Н., Бабенко А. А., Богомяков В. И., Возчиков А. П., Яблонский В. И., Добромиллов А. А., Борисова Т. В., Фирсов Д. Е., Кривых Л. Ю., Кутдусова Х. Ш. Формирование магнезиальных шлаков рационального состава при конвертерном переле высокофосфористых чугунов и нанесение износостойчивого шлакового гарнисажа на футеровку с применением магнезиальноглиноземистого флюса.....	1	3
Кабаков З. К., Чудинов Д. В. Применение тепловизора для измерения температуры корпуса чугуновозного миксера.....	5	3

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Можжерин А. В., Маргишвили А. П., Мусевич В. А., Филин Г. В., Дука А. П. Перспективы поставок огнеупорных материалов ОАО БКО в ОАО НЛМК, совершенствование продукции и повышение эффективности металлургических процессов.....	11	6
Сизяков В. М., Бажин В. Ю., Патрин Р. К., Фещенко Р. Ю., Саитов А. В. Особенности разрушения подины высокоамперного электролизера.....	5	5
Словиковский В. В., Гуляева А. В. Футеровка свода мартеновской печи повышенной стойкости.....	8	7
Словиковский В. В., Гуляева А. В. Эффективные футеровки кивцэтных агрегатов.....	10	5
Словиковский В. В., Гуляева А. В. Эффективные углеродсодержащие футеровки для высокотемпературных агрегатов цветной металлургии.....	4	43
Словиковский В. В., Гуляева А. В. Эффективная футеровка сталеразливочного ковша.....	2	3
Тогобицкая Д. Н., Хамхотыко А. Ф., Циватая Н. А., Степаненко Д. А. Коррозионная активность щелочесодержащих шлаков по отношению к огнеупорной футеровке доменной печи.....	6	5
Шатохин И. М., Зиятдинов М. Х., Манашева Э. М. СВС-нитрид ферросилиция NITRO-FESIL® TL — новый огнеупорный компонент леточных масс для доменных печей.....	9	3
СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ		
Абдрахимов В. З. Применение алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения.....	1	13
Завёрткин А. С. Применение кварцевых и кварц-полевошпатовых песков в формовочных смесях для чугунного литья.....	12	3
Замятин С. Р., Гельфенбейн В. Е., Журавлёв Ю. Л., Бабакова О. Л. Хромистый гексаалюминаткальциевый заполнитель и бетоны на его основе.....	7	15
Кашеев И. Д., Земляной К. Г. Влияние оксидов хрома и циркония на свойства набивных масс из кварцитов Бобровского месторождения.....	4	47
Мелконян Р. Г. Комплексное стекольное сырьё каназит — будущее стекловарения.....	1	6
Потапов В. Я., Давыдов С. Я., Потапов В. В. Выделение твердых включений из глинистого сырья по трению и упругости.....	8	10
Соколов В. А. Перспективы использования вторичного цирконийсодержащего сырья при производстве огнеупоров.....	9	8
Соколов В. А. Состояние производства и сырьевой базы цирконистых огнеупоров в России.....	11	14
Урванцев А. И., Кашеев И. Д. Сухое обогащение кианитовых руд.....	6	10
Шарапова В. В. Перспективы применения комплексного техногенного сырья металлургического производства в огнеупорной промышленности.....	5	9
Шевченко В. П. Природное сырьё Республики Узбекистан для получения сверхтонкого базальтового волокна.....	2	6
ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ		
Аксельрод Л. М., Ряшин В. В., Поспелова Е. И., Маряев И. В. Применение торкрет-масс основного состава в промежуточных ковшах МНЛЗ, разработка новых составов.....	5	16
Афанасьев А. И., Ляпцев С. А., Потапов В. Я. Характеристики асбестосодержащих горных пород и выбор рациональных параметров аппаратов для их разделения.....	7	22
Васин К. А., Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш. Безобжиговая технология изготовления шамотнографитовых стопорных пробок для непрерывной разливки стали.....	3	136
Герасимов В. Ф., Журавлёв В. В. Новые возможности в обработке огнеупоров алмазным инструментом... ..	8	13
Давыдов С. Я. Устройство для тепловлажностной обработки воздуха.....	12	7
Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Бездежский Г. Н., Кашеев И. Д., Корюков В. Н. Использование глиноземной пыли печей кальцинации гидроксида алюминия.....	4	52
Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Кожушко Г. Г., Панов Д. А. Проблемы использования пневмовинтовых насосов для перемещения насыпных грузов.....	3	139
Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Симисинов Д. И., Курочкин В. А., Замураев А. Е. Теоретические исследования процесса разгрузки контейнеров контейнерного пневмотранспорта сегодня и пневмотранспорт завтрашнего дня.....	6	13
Зубашенко Р. В. Теплоизоляционные изделия ЗАО «ПКФ «НК».....	7	19
Кононов В. А., Василенко В. П., Алпатов А. А. Разработка шиберных систем для разливки мелких слитков и фасонного литья.....	11	18

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Красовицкий Ю. В., Архангельская Е. В. Применение квазивиртуального импактора для дисперсионного анализа промышленных пылей.....	9	14
Красовицкий Ю. В., Архангельская Е. В. Рациональное устройство технологических и аспирационных пылегазовых трактов в производстве огнеупоров.....	11	25
Кропачёв Д. Ю., Гришин А. А., Масло А. Д. Способы оперативного измерения температуры расплава металлов для нужд машиностроительных предприятий.....	5	26
Кузнецов С. Н. Рециклинг огнеупорных материалов в процессе производства стали в ОМЗ-Спецсталь.....	9	12
Маргишвили А. П., Филин Г. В., Мусевич В. А., Можжерин А. В., Дука А. П. ОАО БКО на рынке оксидоуглеродистых материалов.....	1	24
Московчук В. Мобильный манипулятор для торкретирования футеровки конвертера в автоматическом режиме.....	1	31
Нечаев А. С. Как эффективно снизить затраты в производстве огнеупоров.....	3	135
Перельман Г. В. Опыт компьютерного проектирования и выбор геометрии формирующих поверхностей оснастки для вытяжки стержневых заготовок на шнековых прессах.....	2	9
Плетнёв П. М., Тюлькин Д. С., Богданов В. А. Изготовление огнеупорных изделий сложной формы методом вибролитья.....	10	8
Тимохова М. И. Исследование некоторых факторов эксплуатационной устойчивости мелющих тел... ..	2	17
Хлыст С. В., Гонтарь В. И., Гонтарь А. В., Пьянков А. Ю. Комплексные системы для технологических линий огнеупорного производства.....	1	28
ТЕПЛОТЕХНИКА		
Бамборин М. Ю., Колесников С. А. Формирование теплопроводности углерод-углеродных композиционных материалов.....	2	22
Дзюзер В. Я. Энергоэффективная тепловая изоляция бадделеитокорундовой кладки в стекловаренных печах.....	10	13
Лисиенко В. Г., Шлеймович Е. М. Улучшение тепловых характеристик печей и условий работы футеровки при развитии методов струйно-факельной интенсификации нагрева металла.....	6	23
Тимошенко Д. А., Коломыцев Е. Е. Сушка футеровки тепловых агрегатов.....	12	12
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ		
<i>Обзорная статья</i>		
Елагин А. А., Бекетов А. Р., Баранов М. В., Шишкин Р. А. Нитрид алюминия. Способы получения (окончание).....	1	49
<i>Инновационные технологии получения керамики</i>		
Омаров А. Ю., Трифонов Ю. Г. Структура и фазовый состав новых керамических материалов, полученных из порошков гидроксида алюминия методом химического диспергирования алюминиево-магниевого сплава.....	9	37
Шляпин А. Д., Омаров А. Ю., Тарасовский В. П., Трифонов Ю. Г. Изучение порошков оксида алюминия, полученных методом химического диспергирования алюминиево-магниевого сплава....	6	63
Шляпин А. Д., Омаров А. Ю., Тарасовский В. П., Трифонов Ю. Г., Айрих А. И. Физико-механические свойства керамических материалов, полученных при химическом диспергировании алюминиевого сплава марки АК12.....	7	30
Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Процессы горения при обжиге теплоизоляционного керамического материала на основе отходов горючих сланцев.....	7	44
Абдрахимова Е. С. Влияние пирофиллита на структурно-реологические и усадочные свойства керамических масс для кислотоупоров.....	11	53
Аксельрод Л. М., Маряев И. Г., Платонов А. А. Метод определения шлако- и клинкероустойчивости огнеупорных изделий для вращающихся печей.....	4	59
Андреев Д. В., Захаров А. И. Комплексный метод исследования и прогнозирования деформации керамических изделий при обжиге.....	9	41
Арефпур А. Р., Монши А., Сайди А., Кайамиан Т. Изучение влияния CaF ₂ и MnO на вязкость и кристаллизацию шлакообразующей смеси при высокоскоростной непрерывной разливке.....	5	35
Бамборин М. Ю., Ярцев Д. В., Колесников С. А. Влияние высокотемпературной обработки на рентгеноструктурные характеристики и теплопроводность углерод-углеродных композиционных материалов.....	8	27

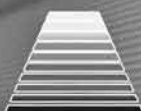
Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Белогурова О. А., Гришин Н. Н. Муллитокордиеритовые теплоизоляционные материалы из ставролита	2	45
Белогурова О. А., Саварина М. А., Шарай Т. В. Термостойкие огнеупоры из кианитовой руды Кейвского месторождения.....	9	19
Беляков А. В., Церман С. И. Особенности резания труднообрабатываемых огнеупоров алмазным инструментом на металлической связке.....	1	56
Бендовский Е. Б. Керамические детали для двигателя внутреннего сгорания.....	8	51
Борис Р., Антонович В., Стонис Р., Волочко А., Белов И. Воздействие температуры выдержки на свойства различных типов жаростойкого бетона.....	10	26
Боровик С. И., Лысова Г. А., Чуклай А. М. Кинетические особенности процессов термической деструкции временного технологического связующего, модифицированного мелассой свекловичной, в производстве периклазовых термостойких огнеупоров.....	12	19
Буряк В. В., Васильченко Г. Н., Чирка Т. В., Константинов С. М. Удельное электрическое сопротивление углеродных материалов.....	5	48
Бутырин Г. М., Проценко А. К., Мостовой Г. Е. Изучение пористой структуры, проницаемости и прочности материала марок УПА-3 и УПА-4.....	6	35
Ван Хан, Лан Хекин, Ген Кернин, Ль Шипин, Фан Ксу. Коррозионная стойкость плавленного зернистого $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{--Al}_2\text{O}_3$ -материала различного состава.....	8	45
Дал Бо М., Хотза Д. Использование утилизированных керамических материалов в производстве трехкомпонентных огнеупоров.....	6	54
Дзюзер В. Я. Электроплавленные AZS-огнеупоры для высокопроизводительных стекловаренных печей	7	50
Досовицкий Г. А., Богатов К. Б., Волков П. А., Михлин А. Л., Досовицкий А. Е. Влияние добавки бора на морфологию и функциональные свойства нанодисперсных порошков алюмоиттриевого граната, активированного европием.....	2	50
Дьяконов В. А., Лукин Е. С., Нефедова Н. В., Пронин Б. Ф., Филатов Е. Н. Высокотемпературные исследования теплозащитных композиционных материалов класса «оксид – оксид».....	12	33
Завёрткин А. С. Влияние технологии изготовления футеровки и плавки чугуна в индукционных печах на процесс шлакообразования.....	1	36
Задорожная О. Ю., Тиунова О. В., Богаев А. А., Хабас Т. А., Непочатов Ю. К., Шкодкин А. В. Влияние добавок наноразмерного ZrO_2 и технологических параметров процесса прессования на свойства композиций на основе Al_2O_3 и ZrO_2	10	21
Йон Чен, Джинкун Ю, Минглиан Ган, Шивен Сун, Чанпин Чен. Исследование и применение магнезиальнофорстеритового сухого вибрационного материала для промежуточного ковша.....	2	41
Кампос К. С., Ленц е Сильва Г. Ф. Б., Нуньес Э. Х. М., Васконселос В. Л. Получение диборидов циркония, титана и магния металлотермическим восстановлением.....	10	37
Кашеев И. Д., Михеенков М. А., Земляной К. Г. Особенности синтеза высокоглиноземистых клинкеров в присутствии метастабильных фаз.....	12	15
Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Красный А. Б., Омаров А. Ю. Количественный анализ поровой структуры керамики с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображения.....	8	40
Кузин В. В., Григорьев С. Н., Волосова М. А. Влияние покрытия TiC на напряженно-деформированное состояние пластины из высокоплотной нитридной керамики в условиях нестационарной термоупругости	9	52
Кузин В. В., Григорьев С. Н., Ермолин В. Н. Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки. Часть 1. Влияние сложного механического нагружения...	10	47
Кузин В. В., Григорьев С. Н., Ермолин В. Н. Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки. Часть 2. Влияние тепловой нагрузки.....	12	36
Кукарцев В. А., Абкарян А. К. Исследование рентгеновскими методами влияния температуры на межплоскостные расстояния кристаллической решетки первоуральского кварцита, используемого для футеровки индукционных печей.....	10	44
Кутузов С. В., Васильченко Г. Н., Чирка Т. В., Панов Е. Н. Теплопроводность углеродных материалов.....	1	43
Куфтырев Р. Ю., Беляков А. В., Кузнецова И. Г. Методы получения композиционных керамических материалов на основе AlN--BN (обзор).....	4	65
Ло Суйдун, Цюй Дианьли, Се Чжипэн, Чжао Веньянь. Влияние CeO_2 на кристаллическую структуру форстерита, синтезированного из низкосортного магнезита.....	7	34
Мосина Т. В. Электроискровое легирование (ЭИЛ) композиционного материала систем TiN--AlN и $\text{TiN--AlN--(Ni--Cr)}$ как метод нанесения износостойких покрытий.....	9	61

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Непомнящий В. В., Волощенко С. М., Мосина Т. В., Гогаев К. А., Аскеров М. Г., Миропольский А. М. Финишная обработка металлической поверхности магнитоабразивными порошками на основе железа с керамическими тугоплавкими соединениями (механические смеси).....	11	57
Онищенко Д. В., Рева В. П. Формирование многослойных углеродных нанотрубок из растительного сырья для модифицирования углеродсодержащих огнеупоров.....	6	31
Пивинский Ю. Е., Дякин П. В., Горбачев Д. В., Стрельцов С. А. Получение и некоторые свойства спеченной алюмосиликатной керамики на основе ВКВС. Часть I.....	2	30
Пивинский Ю. Е., Дякин П. В., Горбачев Д. В., Стрельцов С. А. Получение и некоторые свойства спеченной алюмосиликатной керамики на основе ВКВС. Часть II.....	3	145
Плясункова Л. А., Келина И. Ю., Чевыкалова Л. А. Микроструктура и свойства керамоматричных композитов в системе $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}_f$	5	28
Подболотов К. Б., Дятлова Е. М., Попов Р. Ю. Керамические огнеупорные СВС-покрытия на основе системы $\text{Al}-\text{SiO}_2$	10	31
Порозова С. Е., Кульметьева В. Б., Гуров А. А., Вохмянин Д. С. Термомеханический анализ как инструмент оптимизации режимов спекания керамических материалов на основе диоксида циркония...	8	15
Путляев В. И., Кукуева Е. В., Сафронова Т. В., Иванов В. К., Чурагулов Б. Р. Особенности термолитиза октакальциевого фосфата.....	10	52
Рева В. П., Онищенко Д. В., Петров В. В., Ким В. А., Евстигнеев А. И. Формирование твердого сплава ВК8 с использованием порошка карбида вольфрама, синтезированного по механохимической технологии.....	7	39
Рунгос В., Анезерис С. Г., Берек Х., Скиера Э., Томсер С. Положительное влияние нанодобавок на термомеханические свойства огнеупоров $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{C}$ и $\text{MgO}-\text{C}$	9	24
Сатбаев Б. Н., Жарменов А. А., Кокетаев А. И., Шалабаев Н. Т. Технологические характеристики новых синтезированных огнеупоров.....	5	42
Сизов В. И. Огнеупорные изделия для индукционных печей нагрева металлических заготовок...	3	155
Словиковский В. В., Гуляева А. В. Футеровка горизонтальных медно-никелевых конвертеров повышенной стойкости.....	11	39
Соколов В. А., Гаспарян М. Д., Киров С. С. Получение плавлено-литых хромкорундовых огнеупоров при использовании лома бадделеитокорундовых изделий.....	8	36
Соколов В. А., Гаспарян М. Д., Киров С. С. Получение плавлено-литых хромшпинелидных огнеупоров при использовании бакового лома.....	3	160
Стонис Р., Пундиене И., Антонович В., Клигис М., Спудулис Е. Исследование эффекта замены микрокремнезема в составе жаростойкого бетона добавкой на основе метакаолина.....	6	43
Суздальцев Е. И., Горелова Е. В. Кварцевая керамика, объемно-пропитанная кремнийорганическим связующим спироциклического строения.....	7	27
Суздальцев Е. И., Миронова Е. В. Влияние технологических факторов на качество соединения керамики и металла герметиками Висксинт У-2-28(НТ) и Висксинт У-1-18(НТ).....	12	40
Суздальцев Е. И., Миронова Е. В. Применение кремнийорганической смолы для модификации керамики радиотехнического назначения.....	8	32
Суздальцев Е. И., Харитонов Д. В., Ермолаев А. С. Исследование возможности снижения температуры предварительной кристаллизации литийалюмосиликатного стекла и его использования для изготовления изделий радиотехнического назначения.....	6	49
Трошенков Н. А., Соколов А. А., Григорьев Б. Н., Лиходиевский А. В. Определение шлакоустойчивости и шлакометаллоустойчивости периклазоуглеродистых и хромитопериклазовых огнеупоров.....	1	40
Турдиев Д. Ш. Изучение термостойкости керамических изделий для использования в стекловарении...	3	157
Турнаев С. К., Кийко В. С., Кильговатов Г. М. Влияние пропитки растворами карбоната натрия на свойства оксидной бериллиевой керамики.....	9	58
Хмельев А. В. Получение корундового порошка СВС-методом.....	2	56
Хмельев А. В. Применение СВС в сухих смесях порошков: порошка металла и окислителей.....	12	25
Хмельев А. В. Разработка СВС-метода на безводной основе для получения корундового порошка...	8	20
Цао Сяо Го, Ван Цзя, Ву Ци Бай, Чжан Хай Янь, Донг Цзянь. Влияние поверхностно-активных веществ на изготовление нанопорошка для алюмоиттриевой керамики с добавкой Yb, прозрачной для исследования с помощью лазера.....	11	43
Чевыкалова Л. А., Келина И. Ю., Михальчик И. Л., Аракчеев А. В., Плясункова Л. А., Касимовский А. А., Матюшин К. С. Исследования по получению ультравысокотемпературного керамического материала на основе диборида циркония методом SPS.....	11	31

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Чжоу Ю. Х., Шен К., Цзэн Ц. Тепловые характеристики отходов из плавленной кварцевой керамики и возможности их применения для производства ювелирных отливок.....	12	30
Шарапова В. В. Современные тенденции использования муллитокремнеземистых огнеупоров при производстве конструкционных материалов.....	11	47
Яговцев А. В., Обабков Н. В., Кашеев И. Д. Исследование влияния состава цирконистогрифитового материала на его свойства.....	10	17
ЭКОЛОГИЯ		
Аверкова О. А., Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Ходаков И. В. Моделирование отрывных потоков на входе в круглые всасывающие каналы с кольцевыми экранами.....	10	57
Красовицкий Ю. В., Архангельская Е. В. Медико-экологический мониторинг и токсикология пыли огнеупорного производства.....	5	53
Красовицкий Ю. В., Лобачёва Н. Н. Расчет зернистых фильтров-пылеуловителей для решения экологических проблем производства огнеупоров.....	7	53
Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Аверкова О. А. Способы и средства снижения энергоемкости аспирационных систем при перегрузке сыпучих материалов.....	6	66
Пыриков А. Н., Вильданов С. К., Лиходиевский А. В., Черноусов П. И. Экология, состояние и перспективы применения огнеупорных материалов и их отходов.....	3	165
КАЧЕСТВО И СЕРТИФИКАЦИЯ		
Буравов А. Д., Вихман С. В., Коварская Е. З., Московенко И. Б., Столбнев П. Н. Исследование возможности оценки физико-механических свойств изделий из огнеупорных бетонов акустическими методами.....	1	60
Ефимова И. Н. Сравнение отечественных и зарубежных стандартов на методы испытаний огнеупорной продукции, которые применяют для приемо-сдаточного контроля.....	4	74
ЭКОНОМИКА И РЫНОК		
Зуев М. В., Лисиенко В. Г., Широков В. С., Засухин А. Л., Микурова М. И. Динамика энергетических затрат и энергоэкологические параметры применительно к электросталеплавильному производству.....	5	57
Рябов И. В поисках тендера.....	3	177
Статистика		
Мировая выплавка стали в сентябре 2012 г.	1	65
Мировая выплавка стали в октябре 2012 г.	2	66
Мировая выплавка стали в ноябре 2012 г.	5	64
Мировая выплавка стали в декабре 2012 г.	7	59
Мировая выплавка стали в январе 2013 г.	8	57
Мировая выплавка стали в феврале 2013 г.	9	67
Мировая выплавка стали в марте 2013 г.	10	64
Мировая выплавка стали в апреле 2013 г.	11	63
Мировая выплавка стали в мае 2013 г.	12	46
Мировое производство чугуна в сентябре 2012 г.	1	64
Мировое производство чугуна в октябре 2012 г.	2	65
Мировое производство чугуна в ноябре 2012 г.	5	63
Мировое производство чугуна в декабре 2012 г.	7	58
Мировое производство чугуна в январе 2013 г.	8	56
Мировое производство чугуна в феврале 2013 г.	9	66
Мировое производство чугуна в марте 2013 г.	10	63
Мировое производство чугуна в апреле 2013 г.	11	65
Мировое производство чугуна в мае 2013 г.	12	45
Производство огнеупоров в Китае по видам в основных регионах.....	2	68
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в сентябре 2012 г. ..	1	63
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в октябре 2012 г.	2	64
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в ноябре 2012 г.	5	62
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в декабре 2012 г. ...	7	57
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в январе 2013 г.	8	55

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в феврале 2013 г. ...	9	65
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в марте 2013 г.	10	62
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в апреле 2013 г.	11	61
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в мае 2013 г.	12	44
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в сентябре 2012 г.	1	63
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в октябре 2012 г.	2	64
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в ноябре 2012 г.	5	62
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в декабре 2012 г.	7	57
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в январе 2013 г.	8	55
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в феврале 2013 г.	9	65
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в марте 2013 г.	10	62
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в апреле 2013 г.	11	61
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в мае 2013 г.	12	44
Производство цемента в разных странах мира в 2010–2011 гг.	2	67
Статистика по производству и потреблению огнеупоров в черной металлургии Японии.	1	67
Статистика по производству и потреблению огнеупоров в черной металлургии Японии в 2010–2011 гг.	5	67
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.	1	69
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья	5	66
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья	6	71
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья	7	61
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья	8	59
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья	9	69
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья	10	66
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья	11	66
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья	12	48
ИЗОБРЕТЕНИЯ		
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам	2	69
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам	5	69
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам	7	62
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам	8	60
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам	9	70
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам	10	67
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам	11	67
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам	12	49
Очагова И. Г. Обзор разработок по огнеупорам	3	169
РЕЦЕНЗИИ		
Пивинский Ю. Е., Орданьян С. С. О двухтомном издании Г. Г. Гнесина «Энциклопедический словарь по материаловедению».....	11	69
Кашеев И. Д. О монографии «Техногенное минеральное сырье Урала» В. А. Перепелицина, В. М. Рывина, В. А. Коротеева, А. Б. Макарова, В. Г. Григорьева, Г. И. Гильварга, В. А. Абызова, Ф. А. Табуловича.....	12	51

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА		
Беляков А. В. 80 лет кафедрам, выпускающим силикатчиков, в РХТУ им. Д. И. Менделеева.....	12	53
В ученых советах вузов, отраслевых и академических институтов.....	2	71
Гаврик Г. Г. 11-я Международная конференция огнеупорщиков и металлургов.....	5	72
Гурин В. Н. Памяти выдающегося ученого (Григорий Валентинович Самсонов).....	3	186
Захаренко В. А. Учебно-методический семинар-совещание «Эталонные и рабочие средства измерения в области теплофизики».....	6	73
Интернет-новости (ноябрь 2013 г.).....	1	69
Очагова И. Г. 55-й Международный коллоквиум по огнеупорам в Аахене — огнеупоры для металлургии.....	7	65
Очагова И. Г. 55-й Международный коллоквиум по огнеупорам в Аахене — огнеупоры для металлургии (окончание).....	8	62
Памяти С. В. Колпакова.....	3	10
Полипласт-инфо. II Всероссийская конференция производителей бетона (пресс-релиз).....	12	56
Семченко Г. Д. Желание — это еще не возможность быстро решить проблемы в подготовке квалифицированных кадров для отрасли.....	3	180
100 лет со дня рождения Виктора Львовича Балкевича.....	7	64
Травицкова А. Н., Кононова Л. В. III Научно-практическая конференция «Актуальные проблемы производства огнеупоров».....	3	183



ТЕРМООБРАБОТКА

Восьмая международная специализированная выставка

9 - 11 сентября 2014

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 5

Единственная в России
выставка термического
оборудования и технологий

Разделы выставки:

- новый раздел Внепечная местная и объемная термообработка
- Промышленные печи: муфельные, вакуумные, плавильные, шахтные, камерные, электропечи
- Индукционный нагрев: генераторы индукционных токов, индукционные плавильные печи
- Оборудование для химико-термической обработки: азотирования, цементации и т.д.
- Размерная и поверхностная обработка: формообразование, напыление
- Лабораторные печи, сушильные шкафы
- Оснастка для термического оборудования
- Системы нагрева и газоснабжения, горелки, электронагревательные элементы

9-10 сентября | Международная конференция «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ»

- Неразрушающий контроль, испытательное оборудование, измерительные системы
- Автоматизация термообработки, системы управления и регулирования
- Энергосберегающие технологии термических производств
- Диагностика, реконструкция и модернизация оборудования
- Закалочное оборудование, масла и среды

Информационная поддержка:
















Организатор:
 **Мир-Экспо**

ООО «Выставочная компания «Мир-Экспо» | Россия, 115533, Москва, проспект Андропова, 22
Тел./факс: 8 499 618 05 65, 8 499 618 36 83
E-mail: info@htexporus.ru | Сайт: www.htexporus.ru | Твиттер: @htexpo_ru



ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

- В статье следует сообщить цель проведения работы, привести фактические данные, их анализ и дать заключение (выводы). Текст статьи должен быть дополнен кратким рефератом и ключевыми словами. Реферат и ключевые слова желательно представлять также в английском варианте. Библиографический список следует оформлять в соответствии с ГОСТ 7.1–2003. На труднодоступные источники просьба не ссылаться. Рисунки должны быть четкими, упрощенными и не загроможденными надписями. На графики желательно не наносить масштабную сетку (за исключением номограмм).
- В статье должны быть указаны ученая степень, адрес и телефон каждого автора. Все материалы статьи редакция просит предоставлять в электронном виде.
- Если статья отправлена по e-mail, допускается оформление изображений только в виде отдельных файлов формата TIF (цветные и тоновые — 300 dpi, штриховые — 600 dpi), JPEG, CDR. Изображения (за исключением диаграмм Excel), введенные в файлы формата doc, в качестве оригиналов не принимаются, как не обеспечивающие стандартного качества полиграфического исполнения.
- Представляя рукопись в редакцию, авторы передают издателю авторское право на публикацию ее в журнале. В качестве гонорара авторы получают 1 экземпляр журнала или оттиск своей статьи, который высылается первому автору или любому другому (по указанию авторов). Направление в редакцию работ, опубликованных или посланных для напечатания в редакции других журналов, не допускается.
- Статья, пришедшая в редакцию от зарубежных авторов, вначале отдается на рецензирование, редактируется, переводится на русский язык и публикуется в журнале «Новые огнеупоры». Затем статья отправляется на публикацию в журнал «Refractories and Industrial Ceramics» вместе с английской версией, присланной автором. Таким образом, конечный вариант статьи, опубликованный в журнале «Refractories and Industrial Ceramics», может немного отличаться от первоначального, присланного авторами. Статья, опубликованная в журнале «Новые огнеупоры», в формате PDF высылается авторам по e-mail.

RULES OF DRAWING UP OF ARTICLES

- It is necessary to state in the article the aim of the research work, to cite factual data, to give their analysis and conclusions. The text of the article should be supplemented with a short abstract and key words. Both the abstracts and key words should be also presented in English. Bibliographical list should be drawn up in accordance to the standard GOST 7.1–2003. Please don't make references to sources which are difficult of access. Figures should be distinct, simplified and not overloaded with inscriptions. It is desirable not to scribe a graticule on the diagrams (with the exceptions of nomograms).
- Scientific degree, address and telephone of every author should be given in the article. All the materials of the articles are required to be presented to the editorial board in electronic form.
- If the article is sent by e-mail it is required to draw up the images only in the form of separate files in TIF format (tone images — 300 dpi, stroke images — 600 dpi), JPEG, CDR. Images (with the exception of Excel diagrams), introduced into files of doc format are not accepted as originals because they don't ensure the required standard polygraphic quality.
- Providing the article to the Editorial office the authors thereby convey the copyright of publication to the publisher. The authors get either one copy of the journal or one copy of the article as the compensation, the copy can be sent to the main author or to any other author (by authors' direction). It not allowed offering the Editorial office an article which has been published by other journals or was sent to other publishing houses.
- The article sent to the editorial office by foreign author is refereed firstly by an independent reviewer. Then it is edited and red-penciled, then it is translated into Russian and published in the journal «Novye Ogneupory». Further both the article and the original author's article are sent off to be published in the journal «Refractories and Industrial Ceramics». Thus the final article published in the journal «Refractories and Industrial Ceramics» can vary slightly from the original variant sent by the author. The article published in the journal «Novye Ogneupory» forwarded also to the author by e-mail in pdf format.

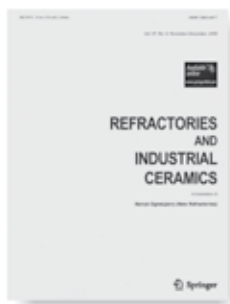
Технические требования к рекламе внутри журнала «Новые огнеупоры» (для каждой страницы)

- Формат документа до обреза 215×300 мм, после обреза: ширина 205 мм, высота 290 мм. Необходимая прибавка (на обрез) по 5 мм со всех сторон.
- Значимые элементы (текст или изображение) должны отстоять не менее чем на 7 мм от края документа (205×290 мм). Разрешение, необходимое для печати, 300 dpi, формат документа TIF, jpeg, цветовая модель CMYK.

Technical requirements to advertising in the journal «New Refractories» (for every page)

- Format of a document to the edge 215×300 mm, after the edge: width 205 mm, height 290 mm. Necessary addition (for the edge) 5 mm on every side.
- Important elements (text or images) should be placed not less than 7 mm from the edge of document (205×290 mm). Resolution required for printing is 300 dpi, document format is TIF, JPEG, color model CMYK.

ВНИМАНИЕ!



Просим в библиографическом списке статей, опубликованных в журнале «Новые огнеупоры», после русской версии дополнительно приводить библиографическое описание статьи в английской версии из журнала **«Refractories and Industrial Ceramics»** (информационно-издательский консорциум «Springer»), если она была в нем опубликована.

Содержание журнала «Refractories and Industrial Ceramics» с указанием авторов, названия статьи, года издания, номера выпуска, страниц, номера журнала публикуется в Интернете:

<http://link.springer.com/journal/11148>

Редакция

ABSTRACTS

UDC 621.742.5.06.55

The using of additives of quartz and quartz-feldspar in the sands for iron casting

Zavertkin A. S. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 3–6.

The investigations were carried out on the using of quartz and quartz-feldspar in the sands for the casting forms and cores of the iron casting. The need for quartz and quartz-feldspar application as molding mixtures was demonstrated for both iron castings with the mass as high as 1500 kg and drying cylinders with a mass as high as 36 tons. The conclusion was drawn about the advantage of Gusarovsk's, Karelian and Finnish sands over the employed quartz sands. Besides the sands, the Portland cement, clay, liquid glass, graphite and shungite were tried. The carbon-contained materials were introduced into the mixture to improve the molding performance, physical and mechanical characteristics, and anti adhesive properties. The mixture specifications, melting and casting technique were developed. It was shown that in order to cast the drying cylinder's body for the paper-making machines one has to fabricate cores out of sands which must have the grain size 0,5–1,0 mm and the clay contain at most 0,6 %. Ill. 2. Ref. 7. Tab. 3.

Key words: quartz and quartz-feldspar sands, molding sand mixture, melting, cast iron, casting, drying cylinders.

UDC 66.045.13

Steam-curing air treatment equipment

Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Koryukov V. N. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 7–11.

The design and the operation description are given in the article for the steam-curing air installation, an example of the regenerative heat-exchanger estimation including. The calculation is offered for the aerodynamic drag, hydraulic calculation is offered for the water flow velocity and for the injector's size, as well as the heat calculation is shown. Ill. 1. Ref. 7.

Key words: heat exchange, recycled water, checker work, water sprinkler, aerodynamic drag, movable shutter.

UDC 666.762.1:669.046.412

The drying of the thermal vessels' linings

Timoshenko D. A., Kolomytsev E. E. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 12–14.

The underlying principles of the drying are stated in the article as well as the methods and schedules of drying depending on the actual thermal vessels' technical and performance properties. The necessity is emphasized for the thermal vessels linings' drying both at the major overhaul works and during the relining periods. The example is given for the thermal vessel lining's drying implemented by the professional

group of LLC «Production and Commercial Firm «NK-Teplochimmontazh». Ill. 4.

Key words: drying, lining, refractory concretes, evaporation of water, ultra-high frequency energy, infra-red thermal energy, combustion-product gas, temperature, scheduler, thermal couple, gas-supply pipe, burner arrangement, torch.

UDC 666.945.2

Distinguishing features of high-alumina clinkers with metastable phases presence

Kashcheev I. D., Mikheenkova M. A., Zemlyanov K. G. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 15–18.

The refractory cement production by means of sintering is hindered because of narrow width of the sintering temperature range and high sintering temperature. To widen the sintering temperature range and to low the sintering temperature it was suggested to form in the high-alumina cement clinkers the intermediate metastable phase. The results of high-alumina cement sintering with the intermediated metastable sulphated phases presence are given in the article. Ill. 2. Ref. 11. Tab. 4.

Key words: high-alumina cement, metastable phases, calcium sulfoaluminate.

UDC 621.742.48:66-97]:666.762.32

Kinetic peculiarities of the thermal decomposition for temporary technological binder modified by raw beet molasses in the production of periclase heat-resistant refractories

Borovik S. I., Lysova G. A., Chuklai A. M. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 19–24.

The kinetic peculiarities of the thermal decomposition were investigated in the article for temporary technological binder modified by raw beet molasses in the production of periclase refractories. The optimum relationship of lignosulphonates and molasses was established in the temporary binder's composition, which provides both the cracks formation decreasing at such technological conversions as compacting and burning, and the high level of physical and mechanical properties of refractory materials. Ill. 3. Ref. 5. Tab. 4.

Key words: lignosulphonates commercial, raw beet molasses, periclase refractories, thermal decomposition, compound.

UDC 666.762.11.091

The application of self-propagating high temperature synthesis to dry powder mixtures: the metal and oxidizer powders

Hmelov A. V. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 25–29.

The results are given in the article on the growth and progress of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ crystal phase, that are the crystal sizes, crystallization degree, microstructure, powder

specific surface and the particle size distribution, which have been obtained in course of the burning in the dry mixture of aluminum powder and various kind oxidizers' powders. The aluminum powder burning in presence of oxidizers which were represented by various substances from potassium nitrate to potassium perchlorate works towards the forming of the wider and at the same time more intensive diffraction maximums of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ phase. This results both in smaller crystalline's sizes and in the crystallization degree of the corundum phase. The powder's microstructure's progress is defined by the dense sintered particles composed of the softer and harder agglomerations, the microstructure being comparatively porous when burning in presence of strong oxidizers. This leads to the less developed powder's specific surface and to the wider particle size distribution, shifted to more coarse fraction 5–54 microns, unlike with the powder, obtained with the using of potassium nitrate which particle size distribution locates at 0,5001,2 micron. Ill. 4. Ref. 15. Tab. 3.

Key words: the dry mixture burning, alumina powder, oxidizers, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ phase.

UDC 666.192:671.1(510)

Thermal characteristics of fused silica ceramic waste and its application in casting

Yongheng Zhou, Keya Shen, Qun Zeng // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 30–32.

Cristobalite SiO_2 can be obtained from the fused silica ceramic waste of polysilicon plant, due to the phase conversion of fused silica to cristobalite during the process of polysilicon ingot. Cristobalite powder materials with high purity are manufactured by milling the discarded waste above. Thermal expansion rate of the cristobalite and gypsum bonding moulds were studied, which show that the thermal expansion of the cristobalite phase transition could effectively compensate for the shrinkage of the gypsum at the temperature between 200 °C and 400 °C. Casting experiments with copper alloy show that the cristobalite can improve the thermal performance of moulds for precise casting of jewelry. Ill. 6. Ref. 11. Tab. 1.

Key words: cristobalite, thermal expansion, moulds for precise casting of jewelry.

UDC 661.682:66.021.4

High-temperature research of heat-proof $\text{SiO}_2\text{--SiO}_2$ composites

D'yakonov V. A., Lukin E. S., Nefedova N. V., Pronin B. F., Filatov E. N. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 33–35.

This paper presents the results of developments and research carried out on radio heat-shielding composites. The main properties of $\text{SiO}_2\text{--SiO}_2$ composites were given, while their strength and thermal properties over the entire range of operating temperatures were investigated. The results of the research – aimed at increasing the

temperature stability of $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2$ materials – were presented. The effect on short-term temperature stability by refractory oxides ZrO_2 and Cr_2O_3 introduced into the structure of the material with water-soluble precursors was shown. Comparative tests of initial and modified materials when heated using a high-temperature gas flame were carried out. Results obtained from these tests were assessed. Ill. 4. Ref. 2. Tab. 1.

Key words: heat-proof materials, intensive heating, dielectric properties, electronics materials.

UDC 666.3:536.49

Strain inhomogeneity in the ceramics' surface layer under the external load. Part II. The influence of the thermal load

Kuzin V. V., Grigoriev S. N., Ermolin V. N. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 35–39.

The results of complex investigations are given in the article for stress inhomogeneities in the surface layer of zirconium dioxide based ceramics under the action of thermal loading. The high stress inhomogeneities were uncovered in the ceramic's structural elements. It is mentioned that the stress inhomogeneities have to be taken into account when describing of the wear and fracture mechanisms, as well as when designing the products made out of this ceramics for the given processing conditions. Ill. 5. Ref. 14. Tab. 2.

Key words: ceramics, inhomogeneity, stress-strain behavior, surface layer, simulation, zirconium dioxide, designing.

UDC 666.968.13

The influence of the processing conditions on the quality of ceramic–metal linking by means of sealants Viksint U-2-28(HT) and Viksint U-1-18(HT)

Suzdal'tsev E. I., Mironova E. V. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 40–43.

The article is about the investigation in the field of metal-ceramic linking. The quality of the glue joint is analyzed depending on the kind of ceramic materials, on the substrate presence, and on the temperature treatment. Ill. 2. Tab. 2.

Key words: linking, metal, ceramics, substrates.

UDC 06.09:[666.1+666.3/7+666.9

The departments of D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia which qualify silicate engineers turned out eighty

Belyakov A. V. // New Refractories. — 2013. — No 12. — P. 53–55.

The article is written to the 80-th anniversary of the departments which train the specialists in chemical engineering of silicates at D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia. The principal developments in the history of the departments and their current state are reviewed.

2014



ПОЛУЧИТЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ИНФОРМАЦИЮ!

Адрес издательства:
127006, Москва,
Старопименовский пер.,
д. 8, строение 1-1А
Телефоны:
(495) 699 97 85, 755 90 91

**Подписаться на журнал
можно в издательстве
(с любого месяца)**

- Цена одного номера журнала без стоимости пересылки 770 рублей (с учетом 10 % НДС)
- Заявку на подписку отправлять по e-mail: info@imet.ru, ogneupor@imet.ru или по факсу: (495) 755 90 40

**Подписку можно также оформить
через агентства:**

- ООО «Урал-Пресс»: тел. (495) 789 86 36
- АРЗИ: Объединенный каталог «Пресса России» (индекс 87595)
- Роспечать: Каталог «Газеты. Журналы» (индексы 81376 и 82708)



COMPANY

Один из лидеров в области торговли минералами в России и СНГ.

Индустриальные минералы всех видов от одного поставщика!
Поставки из Китая, ЮАР, Турции, Бразилии, Канады и т.д.

Огнеупорные минералы: хромитовый песок, магнезит, периклаз, графит, боксит, муллит, корунд, карбид кремния и др.

Литейные минералы: шпат, хромитовый песок, оливин и др.

Поставки в любую точку России и СНГ,
удобные условия работы.



Standort Deutschland:

EK-Company GmbH & Co. KG
Waltherstrasse 9
DE-97074 Wuerzburg, Germany
Phone: +49 931 666878-0
Fax: +49 931 666878-29

info@ek-company.com
www.ek-company.com



Офисы в России:

ООО „ЕК-РЕСУРСЕС“
ул. Воздвиженка д. 10
125009 г. Москва, Россия
Тел.: +7 495 7973732
Факс: +7 495 7973636

info@ek-company.com
www.ek-company.com