



It is shown that the production organization in the republic of fire-resistant materials of own production will allow to replace partially the imported materials and articles from abroad and to save considerable currency means.

А. Т. ВОЛОЧКО, ФТИ НАН Беларуси,
А. А. ШИПКО, М. И. ДЕМИН, А. В. БУДЗИНСКАЯ, ОИМ НАН Беларуси

УДК 666.76

МОНИТОРИНГ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Создание, модернизация и ремонт тепловых агрегатов, применяемых в различных отраслях промышленности (металлургия, машиностроение, химическая, строительная и др.) во всех развитых странах, требуют особого внимания к производству и применению огнеупорных материалов. Кроме того, использование керамических материалов, обладающих необходимыми свойствами, позволяет решить проблему экономии материальных и энергетических ресурсов.

Керамические огнеупорные материалы – это материалы и изделия преимущественно на основе минерального и синтезированного сырья (смеси тугоплавких оксидов, силикатов, карбидов, нитридов, боридов) с огнеупорностью 1580 °С и выше.

Тугоплавкие керамические материалы – это материалы и изделия, температура плавления которых 1350 °С и выше.

При создании огнеупоров следует учитывать комплекс свойств: доступность сырья, себестоимость; эксплуатационные свойства; экологичность и технологичность (рис. 1).



Рис. 1. Схема взаимосвязи оптимальных характеристик огнеупорных материалов

В зависимости от огнеупорности керамические материалы классифицируются на огнеупорные (1580–1770 °С), высокоогнеупорные (1770–2000 °С), высшей огнеупорности (>2000 °С) (рис. 2).

По химико-минеральному составу все огнеупоры делят на следующие типы: кремнеземистые, алюмосиликатные, глиноземистые, магнезиальные, магнезиально-шпинелидные, хромистые, цирконистые, углеродистые, карбидокремниевые [1–3].

Запасы огнеупорных глин – основного сырья для производства огнеупоров, сосредоточены в России (55%) и Украине (37%). По добыче глин первое место принадлежит России (4,56 млн. т/год), второе – Украине (3,27 млн. т/год) [4].

В Республике Беларусь запасы тугоплавких глин с огнеупорностью выше 1580 °С не обнаружены. Однако есть глины с огнеупорностью около 1500–1530 °С, которые могут быть использованы при получении изделий, эксплуатируемых при температуре 1200 °С и позволят заменить на ряде предприятий алюмосиликатные огнеупоры (в первую очередь, шамот), завозимые по импорту. Так, в Столинском районе Брестской области (месторождение «Деревная») имеются запасы глин (по предварительным данным около 600 тыс. м³), которые, по данным специалистов института УП «НИИСМ», могут быть пригодны для получения изделий с рабочей температурой 1200–1250 °С. Кроме того, обнаружено месторождение гранитоидов на Житковичско-Микашевичском выступе «Ситница» и «Дедовка», вскрытые породы которого содержат первичные коалины с высоким содержанием кварца, которые как добавки могут повышать содержание Al₂O₃ в тугоплавких глинах, и, как следствие, их огнеупорность. Коалины указанных выше месторождений требуют применения

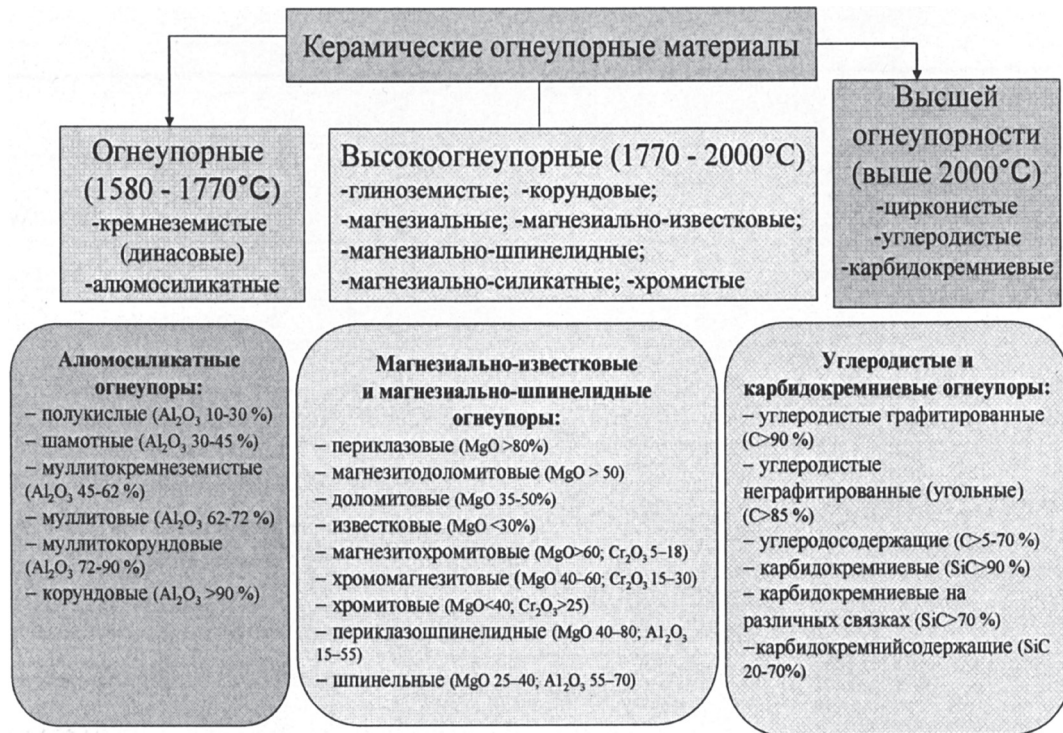


Рис. 2. Классификация керамических материалов по огнеупорности

Тугоплавкие и огнеупорные соединения

Оксидные соединения	$T_{пл}, ^\circ C$	Карбиды	$T_{пл}, ^\circ C$	Нитриды	$T_{пл}, ^\circ C$
MgO	2825	C*	3800	HfN	3382
ZrO ₂	2700	HfC	3890	TiN	3205
CaO	2625	TaC	3880	TaN	3087
CaO·MgO	2450	NbC	3760	NbN	3000
CaO·ZrO ₂	2345	ZrC	3530	BN	3000
Cr ₂ O ₃	2330	TiC	3257	ZrN	2980
MgO·Al ₂ O ₃	2135	WC	2870	AlN	2400
CaO·SiO ₂	2130	VC	2830	Si ₃ N ₄	1900
Al ₂ O ₃	2050	SiC	2830		
2MgO·SiO ₂	1890	Al ₄ C ₃	2050		
3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	1850	Cr ₃ C ₂	1895		
TiO ₂	1870	Fe ₃ C	1650		
SiO ₂	1720	B ₄ C	2350		
Синтезируются из природного сырья, встречаются в природном виде		Имеются природные запасы сырья		Синтезируются искусственно из техногенного сырья	

технологий обогащения для производства из них алюмосиликатных огнеупоров [5–7].

Изменившаяся экономическая ситуация и появление более современных технологий требуют переоценки месторождений и запасов минерально-сырьевых ресурсов республики, более полного использования всех компонентов добываемых руд.

Состав огнеупоров может быть самым разным в зависимости от условий эксплуатации. Срок службы варьируется от часов до нескольких десятков лет. К примеру, черная металлургия в США и Европе потребляет 10–11 кг огнеупоров на 1 т произведенной стали. В азиатских странах потребление выше и достигает 15 и даже более 20 кг.

В качестве сырья для огнеупорных керамических материалов могут быть использованы простые и сложные оксиды Al_2O_3 , $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, $MgO \cdot Al_2O_3$, простые и сложные соединения в виде карбидов, нитридов с карбонитридовыми и другими соединениями, которые получают с использованием как природного сырья, так и синтезируют из техногенного (см. таблицу).

Для изготовления огнеупоров используют разнообразные технологии и процессы. Типовой схемой является подготовка, включающая сортировку и измельчение, смешивание компонентов, формование изделий (прессование, литье, набивка, нанесение покрытия), сушка и термический обжиг [4].

Неформованные огнеупоры – огнеупоры, изготовленные без определенных форм и размеров в виде кусковых, порошковых и волокнистых материалов, а также паст и суспензий. Их обычно упрочняют введением минеральных (например, жидкое стекло) или органических (полимеры) связующих. К ним относят металлургические заправочные порошки, заполнители и мелкозернистые компоненты для огнеупорных бетонов, огнеупорные цементы, бетонные смеси, мертели, материалы для покрытий (в том числе торкрет-массы), некоторые виды волокнистых огнеупоров. Также огнеупоры данного вида могут быть сухими, полусухими, пластичными и жидкотекучими [1, 5].

Формование огнеупорных материалов проводят методами полусухого и горячего прессования, пластического формования, литья (вибрولитья) из текучих масс или расплава материала, а также распилом предварительно изготовленных блоков или горных пород. Формованные огнеупоры применяют для изготовления сопла горелок, тиглей, кирпичей и блоков, огнеупорных кладок стен, сводов, подов и других конструкций коксовых, мартеновских и доменных печей, печей для выплавки различных сплавов, при футеровке ядерных реакторов и др.

По характеру термической обработки различают безобжиговые и обожженные огнеупорные материалы. К числу безобжиговых материалов можно отнести, например, материалы, полученные с использованием фосфатного связующего. Так, при получении алюмосиликатных изделий (Al_2O_3 до 60 мас.%), отличающихся повышенными свойствами по термо- и шлакоустойчивости, температура их сушки составляет около 500 °С [8]. Для обожженных огнеупорных материалов температура обжига превышает 600 °С [1, 4, 5].

Важным элементом тепловых агрегатов являются теплоизоляционные материалы. В зависимости от условий эксплуатации тепловая изоляция необходима для:

- уменьшения потерь тепла, аккумулируемого кладкой или набивной массой, что особенно актуально для периодически действующих печей, так как помимо экономии тепла, снижается инерционная способность печей, что позволяет сократить продолжительность их разогрева и охлаждения;
- снижения температуры наружной поверхности для уменьшения потерь тепла в окружающую среду и улучшения санитарных условий работы обслуживающего персонала.

Кроме того, теплоизоляция, помимо сокращения потерь тепла, должна устранять термическое разрушение огнеупора, сохранять кладку или на-

бивную массу и, тем самым, увеличивать срок их эксплуатации. При периодической работе тепловых агрегатов футеровка может разрушаться вследствие колебаний температур. Материалы для теплоизоляции в зависимости от структуры подразделяются на ячеистые, зернистые и волокнистые.

По пористости (объемной доле пор, %) различают особо плотные огнеупорные материалы (пористость менее 3%), высокоплотные (3–10%), уплотненные (16–20%), материалы повышенной пористости (20–30%), легковесные (45–75%), огнеупоры с высокой (45–85%) пористостью и ультралегковесные (75–90%), к которым обычно относят волокнистые огнеупорные материалы [1, 7, 9].

Огнеупорные волокна системы $Al_2O_3-SiO_2$ оптимально сочетают низкую массу, низкую аккумуляцию тепла (теплоемкость 1,02–1,11 Дж/(кг·К)), высокие теплоизоляционные свойства. Теплопроводность таких материалов определяется плотностью футеровки и температурой эксплуатации.

В последнее время широкое распространение получили волокнистые огнеупоры с температурой применения 1150–1300 °С. Отличительной особенностью волокнистых керамических материалов является то, что они, имея низкий коэффициент теплопроводности, характеризуются высокой термостойкостью к перепадам температур и устойчивостью к вибрациям. В некоторых случаях они могут заменить многослойную футеровку, состоящую из плотных материалов.

На рис. 3 показана сравнительная теплопроводность матов, изготовленных из различных волокон. В качестве волокнистой теплоизоляции с низкой теплопроводностью могут быть использованы базальтовые, муллито-кремнеземистые плиты [10]. Такого рода изделия могут получать из каолиновой ваты. Исходным сырьем для производства

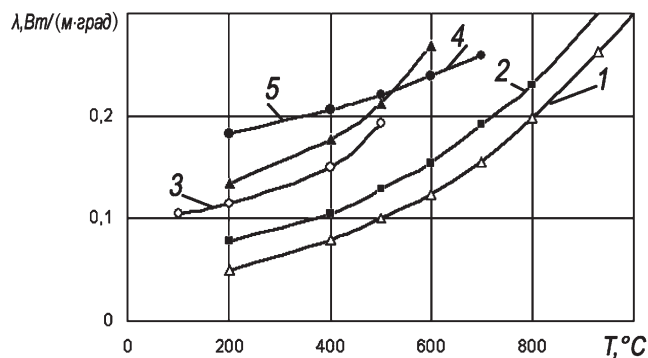


Рис. 3. Сравнительная теплопроводность матов, изготовленных из различных волокон: 1 – кремнеземистое; 2 – керамическое; 3 – стекловолокно; 4 – базальтовое; 5 – минеральная вата

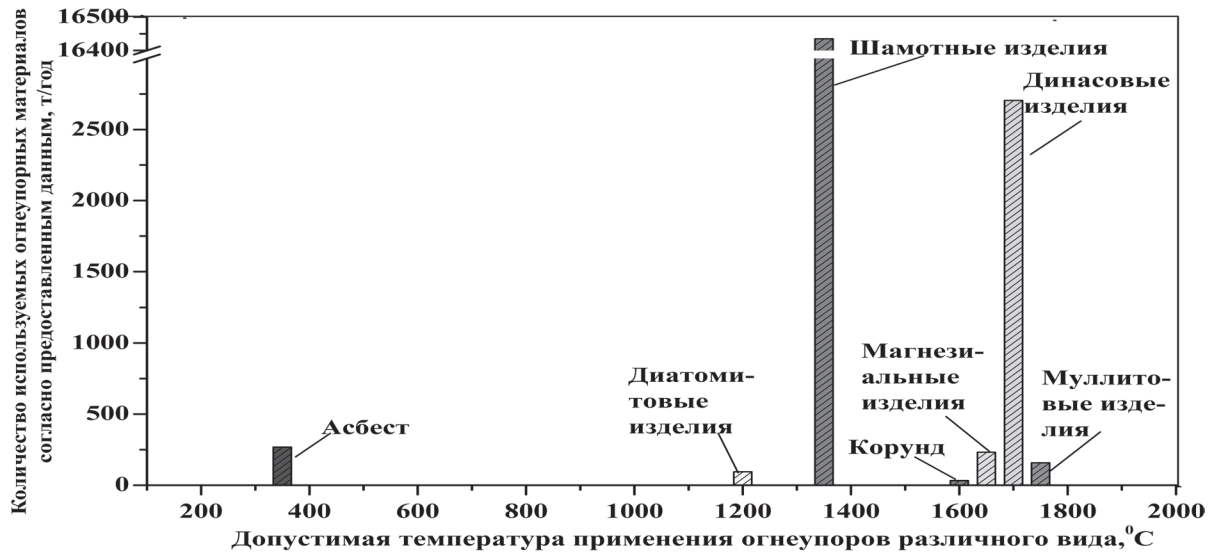


Рис. 4. Диаграмма количественного распределения видов применяемых огнеупорных материалов в зависимости от допустимой температуры их применения

может служить смесь технического глинозема (99% Al_2O_3) и кварцевого песка (более 97,5% SiO_2) в соотношении по массе 1:1. Плавнение шихты производится в рудотермических печах. Струя расплава с температурой около 2000 °C расщепляется в специальном волокнообразующем устройстве на отдельные штапельные волокна струей перегретого пара. Применяют и другие способы, например центробежные, комбинированные.

После волокнообразующего устройства расплав совместно с паром с большой скоростью поступает в диффузор камеры волокноосаждения с сетчатым конвейером. К нижней части камеры подведен воздухопровод, который создает разрежение в камере. Слой каолиновой ваты на выходе из камеры в виде ковра подпрессовывается балансирующим барабаном до заданной объемной плотности, а бока ковра обрезаются механизмами продольной резки. Затем ковер закручивается в рулоны. Такой продукт, готовый для промышленного применения, называют рулонным материалом. В настоящее время из такого рулонного материала возможно изготовление более 50 различных видов изделий. По мере расширения мест применения номенклатура волокнистых материалов постоянно увеличивается. В зависимости от сырья изготовления волокнистые материалы бывают шамотными, динасовыми, глиноземными и др. [1, 11].

По данным мониторингового исследования, проведенного Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси, Физико-техническим институтом НАН Беларуси и 20 предприятиями Министерства промышленности Республики Беларусь, для модернизации и технического переоснащения печного оборудования требуется огнеупорных изделий и материалов: шамотных – 16435 т/год;

динасовых – 2705; магнезиальных – 231,4; асбестовых – 267,61; муллитовых – 157,17; диатомитовых – 94,5; корундовых – 32,6 т/год.

На рис. 4 показана диаграмма количественного распределения видов огнеупоров в зависимости от допустимой температуры их применения.

Таким образом, всего для обследованных предприятий Минпрома количество требуемых огнеупорных материалов $\approx 20\ 000$ т/год (14 железнодоменных составов в год по 20 вагонов).

По информации НИИСМ (НИИ строительных материалов) Минстройархитектуры Республики Беларусь, ежегодная потребность отрасли в шамоте составляет также около 20 000 т. В системе Минэнерго огнеупоры используют для котлов и технологических печей.

По данным предприятий Минпрома, ежегодные затраты на приобретение огнеупоров составляют около 415 млн. рос. руб. или около 15–20 млн. долл. США.

Распределение затрат по видам материалов показано на рис. 5.

Если к этим цифрам добавить оборудование цементных, стекольных и других производств, использующих печи, затраты могут возрасти в разы.

В настоящее время в республике получили развитие работы по организации производства печного оборудования отечественной разработки. ЗАО «Атлант» Барановичский станкостроительный завод, работающий по договорам с Институтом тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси и УП «Авторемпромпроект» Министерства промышленности Республики Беларусь, разрабатывает и изготавливает отечественное печное оборудование. В 2010 г. этот завод разработал и изготовил две газовые нагревательные печи для нагрева за-

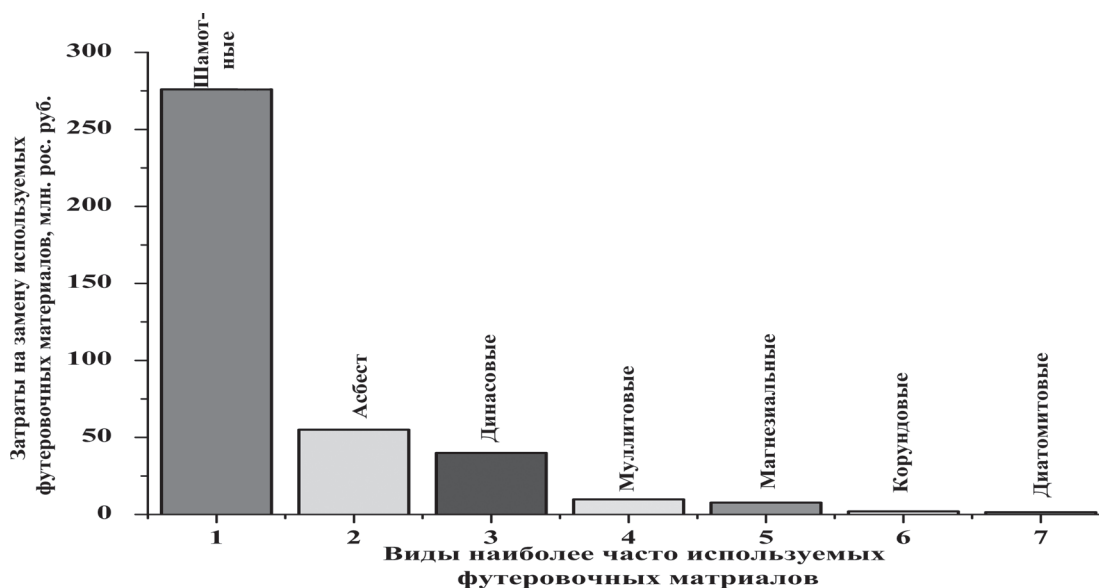


Рис. 5. Диаграмма распределения затрат на замену футеровочных материалов

готовок под ковку и штамповку, а также три электрические камерные печи.

Институтом тепло – и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси совместно с ЗАО «Атлант» БСЗ и предприятиями-потребителями (ОАО «Минский завод «Калибр», РУП «МЗОР», ОАО «Гидромаш» (г. Кобрин) ведутся работы по созданию пяти опытных образцов электропечей, предусмотренных планом разработки опытных образцов энергоэффективного печного оборудования на 2010–2012 гг., утвержденным Первым заместителем Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко. Разработан и изготовлен экспериментальный образец камерной электропечи сопротивления.

Белорусским теплоэнергетическим институтом Минэнерго РБ по заказу концерна «Белнефтехим» создана современная жидко-топливная печь мод. КППД-600 с автоматическим управлением. Данная камерная печь – периодического действия, производительностью до 300 кг/ч, предназначена для нагрева стальных заготовок под свободную ковку с максимальными размерами по длине 800 мм и диаметру 300 мм в диапазоне температур до 1250 °С. Футеровка печи выполнена на базе керамоволокнистых материалов «Keratex» (Чехия) в форме модулей с габаритными размерами 305×305×300 мм и жаропрочных бетонов. Конструкция подины является комбинацией кальций – силикатных плит KERASIL 1000 и изоляционных бетонов IZOBET 1150, IZOBET 1300, а также плотного жаропрочного бетона NOVOBET 1500, из которого изготовлен рабочий слой подины.

Этим институтом начат проект модернизации наиболее распространенной на предприятиях Ми-

нистерства промышленности цементационной шахтной печи СШЦМ-6.12/9М1 с автоматическим управлением электронагрева и футеровкой на базе волокнистых материалов.

Специалистами БелТЭИ начаты также работы по проектированию новой камерной печи с двумя выкатными подами КППВ-2400 для Белоозерского энергомеханического завода. Отличительной особенностью данной печи является то, что она работает на рекуперативных горелках. Для автоматизации работы горелок применяется программный импульсный регулятор на базе контроллеров Siemens (Германия). Футерована печь также на основе керамоволокнистых материалов «Keratex» (Чехия).

Следует иметь в виду, что ряд предприятий Минпрома самостоятельно проводят модернизацию нагревательных печей. Например, на филиале ОАО «МАЗ» Минском рессорном заводе осуществлена модернизация двух закально-отпускных агрегатов для закалки листов рессор с самостоятельной закупкой и установкой газовых горелок системы «Кром-Шредер» (Германия). Аналогичные работы проводятся и на Минском автозаводе, где в сталелитейном цехе № 2 модернизируются печи отжига стального литья. При этом используются описанные выше схемы современной футеровки (волокно+жаропрочный бетон).

Вопросами создания теплоизоляционных и огнеупорных материалов с использованием местного и синтезированного сырья, вторичных алюминиевых сплавов занимается ряд организаций республики – Физико-технический институт НАН Беларуси, Белорусский национальный технический университет, Белорусский государственный

университет информатики и радиоэлектроники, Белорусский государственный технологический университет, Институт порошковой металлургии.

На текущий год в рамках подпрограммы научных исследований «Металлургия» запланированы работы по исследованию влияния связующего, активных добавок на свойства и структуру теплоизоляционных материалов различной основы (искусственный волластонит CaSiO_3 , известково-кремнеземистое сырье, техногенные отходы и др.); разработке состава исходной шихты и схем ее ультразвуковой механоактивации, составов и процессов импульсного формирования самотвердеющих масс, созданию материалов на их основе; особенностях получения вспененных материалов на основе высокопористых теплоизоляционных материалов, вторичных алюминиевых сплавов.

Ряд исследований уже завершен. Например, ФТИ НАН Беларуси предложена технологическая схема получения защитных термо- и шлакоустойчивых покрытий толщиной до 3–4 мм и прочностью адгезии $>1,2\text{--}2,0$ МПа, получаемых методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), наносимых на традиционно используемые алюмосиликатные и магнезиальные огнеупоры. Такие покрытия позволяют увеличить межремонтный срок службы тепловых агрегатов в 1,5–2,0 раза, а в некоторых случаях провести локальный ремонт без разрушения многослойной футеровки [12]. Предложены схемы проведения ремонтных работ печей с использованием отечественных материалов.

Белорусским национальным техническим университетом создана методика подбора слоев волокнистой футеровки рабочей камеры промышленной нагревательной и термической печи. На основе созданной методики проведены многовариантные расчеты конструкций энергоэффективной многослойной футеровки. Получены конструкции энергоэффективных футеровок при различных температурных режимах печи.

Наряду с этим обозначился и ряд проблем, требующих как научной проработки, так и организации специальных производств для выпуска отечественных огнеупоров.

1. Рециклинг огнеупорных материалов. Эта технология решает ряд экологически значимых проблем защиты окружающей среды и сохранения земельного фонда. Имеет важнейшее значение для республики.

Огнеупорный лом используется в других странах как вторичное сырье для производства огнеупоров, а также для производства порошков и масс различного назначения, например, бетонных сме-

сей, набивных масс. Например, российскими учеными (г. Новокузнецк) разработана технология получения безусадочных конструкционных огнеупоров и керамики из огнеупорного лома с применением нанодисперсного связующего. В качестве вторичного сырья использовали огнеупорный лом: динас, шамот, электрокорунд. Результаты физико-механических испытаний огнеупорного кирпича из огнеупорного боя – положительные [13].

Для Беларуси, не располагающей сырьевыми запасами огнеупорных глин необходимого качества, вопросы рециклинга особенно важны. По состоянию на 2010 г., общий объем отходов огнеупорных материалов, образовавшихся в результате производственной деятельности предприятий, подведомственных Минпрому, составил почти 3 млн. т. Стоит задача сбора, сортировки и переработки вторичных огнеупоров. В качестве изготовителя алюмосиликатных огнеупоров может выступить Обольский керамический завод. На этом предприятии имеется необходимое оборудование.

2. Получение фасонных керамических изделий. Например, изделия для крепления электрических нагревателей закупаются за рубежом. Вместе с тем, ФТИ НАН Беларуси, Институтом тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси получены и испытаны опытные образцы электродержателей печей сопротивления.

3. Производство изделий (блоков, модулей, матов, войлока и др.) из волокнистых импортных рулонных материалов. Достигнута договоренность с Чешским предприятием «КЕРАТЕХ» о создании в Республике Беларусь совместного предприятия по производству теплоизоляционных изделий из волокнистых импортных рулонных материалов.

4. В рамках Государственной инвестиционной программы РУП «Институт «Белгоспроект» по заказу Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь проектирует учебно-тренировочный комплекс по моделированию пожаров внутри помещений жилого, культурно-зрелищного и производственного назначения (УТК), предназначенный для подготовки пожарных-спасателей, тушению пожаров в условиях, максимально приближенных к реальным. Строительство комплекса планируется на полигоне оперативно-тактической подготовки Государственного учреждения образования «Институт переподготовки и повышения квалификации» МЧС Республики Беларусь (ИППК МЧС) (пос. Светлая Роща Борисовского района). Срок окончания проектирования (стадия АР) – 2011 г., срок окончания строительства – 2013 г.

Конструктивной особенностью УТК является создание в здании отдельных зон горения с темпе-

ратурным режимом, соответствующим реальному пожару, и защитой конструкций здания и инженерных сетей защитными материалами от огневых и тепловых воздействий (до 1200 °С), а также воздействия огнетушащих веществ (вода, пенорастворы).

В Республике Беларусь в настоящее время материалов с названными выше свойствами не производится. Для огнеупорной защиты конструкций здания УТК планируется применить андалузитовые и шамотные огнеупорные изделия польской фирмы Polska Ceramika Ogniotrwala Zarow S. A. Стоимость материалов составляет более 1 890 тыс. евро. Гарантийный срок эксплуатации защиты 12 мес. Так как срок гарантии небольшой, то потребность в таких материалах сохранится. Целесообразным видится проведение исследования с целью обеспечения ремонта и возможной замены указанных ма-

териалов для безопасного функционирования объекта.

Ввиду перспективности использования теплозащиты оборудования волокнистыми материалами планируется начиная с 2012 г. включить в ГПНИ «Металлургия» задание по разработке проекта производства огнеупорных материалов с температурой применения до 1200–1250 °С, включающего создание и испытание опытных образцов с использованием тугоплавкого местного сырья – гранитоидов (диорит) Микашевичского месторождения и глинистых пород. Цель – получение волокнистых материалов.

Организация производства в республике огнеупорных материалов собственного изготовления позволит частично заменить ввозимые материалы и изделия из-за рубежа и сэкономить значительные валютные средства.

Литература

1. ГОСТ 28874-2004. Огнеупоры. Классификация.
2. Хорошавин Л. Б., Перепелицын В. А., Кононов В. А. Магнезиальные огнеупоры: Справ. М., 2001. Т. 2.
3. Алферов А. И., Блинов Ю. И., Бояков С. А. и др. Электротермические процессы и установки: Учеб. пособ. по теоретическому курсу. Красноярск, 2007.
4. Хорошавин Л. Б., Перепелицын В. А., Кононов В. А. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топков: Справ. Т. 1. Производство огнеупоров. М.: «Интермет инжиниринг», 2000.
5. Кашеев И. Д., Гришеникова Е. Е. Служба огнеупоров: Справ. Кн. 2. М.: «Интермет инжиниринг», 2002.
6. Полезные ископаемые Беларуси: геология, месторождения и рациональное недропользование // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2003.
7. Высоккий Э. А., Демидович Л. А., Деревянкин Ю. А. Геология и полезные ископаемые Республики Беларусь: Учеб. пособ. Минск, 1996.
8. Волочко А. Т. Переработка и использование алюминиевых отходов в производстве порошков, паст, композиционных и керамических материалов. Минск: Белорусская наука, 2006.
9. ГОСТ 5040-96. Изделия огнеупорные и высокоогнеупорные. Легковесные. Теплоизоляционные. Технические условия.
10. <http://www.alusil.ru>.
11. Огнеупоры 2000. Информационно-техническое приложение к журналу «Огнеупоры и техническая керамика» // Справочник специалиста. М.: ООО «Меттекс», 2000.
12. Современные перспективные материалы / Под ред. В. В. Клубовича. Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2011. (Волочко А. Т. Подболотов К. Б., Жукова А. А. Синтез керамических покрытий на основе тугоплавких фаз в системах Mg-SiO₂-Al и Al-SiO₂-C методом СВС. Гл. 13. С. 340–380).
13. Иванов Ф. И., Исакова Е. В., Головкин А. С., Полубоярова В. А. Проблемы и перспективы комплексного использования техногенных отходов горно-металлургического комплекса юга Кузбасса, анализ ситуации // Материалы второго Междунар. конгресса «Цветные металлы-2010 г., 2–4 сент., Россия, г. Красноярск. Раздел IX. Рециклинг вторичных ресурсов металлургической и электрометаллургической промышленности: технологический, экологический и экономический аспекты. С. 771–775.