



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ОГНЕУПОРЫ»  
(ООО «НТЦ «Огнеупоры»)

---

**ВЫПУСК №1**

**ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ  
ОГНЕУПОРОВ  
В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

обзор зарубежных периодических изданий  
и материалов международных конференций  
за III квартал 2006 г.

Технический директор

А.Е. Жуковская

Исполнитель

А.Н. Селиванова

Санкт-Петербург  
2006 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОГНЕУПОРНОЕ СЫРЬЕ .....	4
2. ОГНЕУПОРНЫЕ БЕТОНЫ .....	9
3. ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....	14
4. ФУТЕРОВКА КОВШЕЙ ДЛЯ РАЗЛИВКИ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ.....	15
5. ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ.....	22
6. ФУТЕРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА .....	25
7. ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ И ПЛАВКИ ОТХОДОВ .....	28
8. УТИЛИЗАЦИЯ ОГНЕУПОРОВ .....	29
9. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ОГНЕУПОРОВ.....	31
10. СТАТИСТИКА И ЦЕНЫ.....	34

## ВВЕДЕНИЕ

При подготовке обзора зарубежных периодических изданий и материалов международных конференций за III квартал 2006 г. по теме «Производство и применение огнеупоров в различных отраслях промышленности» были просмотрены следующие журналы и труды конференций, поступившие в Россию в период с июня по август 2006 г (всего 12 наименований):

1. **Acta Metallurgica Sinica (English Letters)**. 2006. 19. №1,2 (Китай, 6 номеров в год).
2. **China's Refractories**. 2006. 15. № 1, 2 (Китай, 4 номера в год).
3. **Industrial Heating**. 2006. February-June (США, 12 номеров в год)
4. **Industrial Minerals**. 2006. January-June (Великобритания, 12 номеров в год)
5. **Interceram**. 2006. 55. № 1-3 (Германия, 6 номеров в год).
6. **Iron & Steel Technology**. 2006. № 1-4 (США, 12 номеров в год)
7. **Ironmaking and Steelmaking**. 2006. 33. № 1-2 (Великобритания, 6 номеров в год).
8. **Refractories Applications and News**. 2006. 11. № 2-3 (США, 6 номеров в год).
9. **Steel Research International**. 2006. 77. № 1, 2 (Германия, 12 номеров в год)
10. **Supplement to Interceram**. 2006. 55. № 1-3 (Германия, 6 номеров в год)
11. **Taikabutsu overseas**. 2005. 25. № 4 (Япония, 4 номера в год)
12. **Proceedings of the United International Technical Conference on Refractories - UNITECR'05. November 8-11, 2005. Orlando, Florida, USA** (конференция проходит один раз в два года)

Из 85 статей по производству и применению огнеупоров, опубликованных в этих изданиях, для реферирования были отобраны 44 материала научно-технической или технико-экономической направленности (объемом, как правило, не менее 3 стр., не рекламного характера), которые систематизированы по следующим рубрикам:

- ОГНЕУПОРНОЕ СЫРЬЕ – 7 рефератов;
- ОГНЕУПОРНЫЕ БЕТОНЫ – 6 рефератов (в том числе один по двум источникам);
- ОБЗОРЫ ПО ОГНЕУПОРАМ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ – 2 реферата;
- ФУТЕРОВКА КОВШЕЙ ДЛЯ РАЗЛИВКИ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ – 11 рефератов;
- ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ – 3 реферата;
- ФУТЕРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА – 4 реферата;
- ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ И ПЛАВКИ ОТХОДОВ – 2 реферата (в том числе один по двум источникам).
- УТИЛИЗАЦИЯ ОГНЕУПОРОВ – 2 реферата;
- МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ОГНЕУПОРОВ – 3 реферата;
- СТАТИСТИКА И ЦЕНЫ – 2 реферата.

# 1. ОГНЕУПОРНОЕ СЫРЬЕ

## 1. ПЛАВЛЕННЫЙ ДИОКСИД ЦИРКОНИЯ: РОСТ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ

Fused zirconia. Growth with stability / Moore P.// **Industrial Minerals**. 2006. № 460 (January). С. 20, 21, 23, 24, 25. 27. 28. Англ.

Рынок плавленного диоксида циркония растет в Азии быстрыми темпами, особенно потребление стабилизированного диоксида циркония в китайской огнеупорной промышленности.

В статье, написанной заместителем главного редактора журнала *Industrial Minerals*, представлены основные производители моноклинного и стабилизированного диоксида циркония, которые используют в процессе производства метод плавления. В некоторых случаях эти же компании выпускают химические марки (например, австралийская Doral, японская DKK, китайская Astron), но это скорее исключение, чем правило. Следует также отметить, что моноклинный диоксид циркония выпускается в значительно больших объемах, чем стабилизированный, что связано с его широким применением в огнеупорной и керамической промышленности.

В статье приведена таблица, в которой указаны фирмы-производители плавленного диоксида циркония по всему миру с указанием мест расположения предприятий, типа выпускаемой продукции и объема производства. Ежегодное производство плавленного диоксида циркония оценивается в 45 тыс.–55 тыс. т при общей мощности 65 тыс. т. К быстро растущим рынкам, потребляющим стабилизированный диоксид циркония, относятся Китай, Индия и Южная Корея. Компании *Foskor*, ЮАР, и *UCM*, США, являются крупнейшими экспортёрами плавленного диоксида циркония в Китай. *UCM* также успешно работает на традиционных рынках Японии, Европы и США.

## 2. ОГНЕУПОРНЫЕ БОКСИТЫ. СЛЕДУЮЩЕЕ ПОКОЛЕНИЕ

Refractory bauxite. The next generation / Zhong Xiangchong // **Industrial Minerals**. 2006. № 460 (January). С. 54, 55, 57, 58, 61. Англ.

По прогнозу проф. Zhong Xiangchong, руководителя исследовательских работ из *Института высокотемпературной керамики* (Университет Чжэнчжоу), Китай, в ближайшие 15-20 лет будет развиваться и преуспевать новое поколение огнеупоров с превосходными эксплуатационными характеристиками на основе синтетического бокситового сырья.

Бокситы огнеупорного сорта в изобилии имеются в Китае, главным образом в провинциях Хэнань, Шаньси и Гуйчжоу; их запасы превышают 1 млрд т. Наиболее широко используются бокситы, содержащие диаспор и каолинит.

С целью улучшения комплексного использования бокситовых руд и повышения качества бокситовых огнеупоров в 90-х годах прошлого века был создан государственный научно-исследовательский проект по разработке синтетических сырьевых материалов на базе боксита (обогащенного боксита, электроплавленного глинозема, спеченной шпинели и материала системы корунд-муллит-бадделеит), который дал обнадеживающие результаты. Основываясь на них, в течение последних 4 лет в лабораториях Института высокотемпературной керамики проводились НИР, направленные на разработку высококачественных синтетических сырьевых материалов и новой высокостойкой продукции из китайских бокситов. Бокситовые сырьевые материалы будущего можно разделить на три типа: гомогенизированные, с оптимизированными свойствами и конвертированные. В статье описываются эти типы сырья и рассматриваются три группы новых огнеупоров (формованных изделий и бетонов) на основе этого сырья.

### 3. МАГНЕЗИАЛЬНОГЛИНОЗЕМИСТЫЕ ШПИНЕЛИ В ДЕЙСТВИИ

Magnesia-Alumina Spinel in Action / M. V. Ramana Rao // [Industrial Minerals](#). 2006. № 1. С. 50,51,53. Англ.

Развитие технологии сталеплавильного производства привело к тому, что ковши подверглись действию более высоких температур, агрессивных шлаков, более длительному пребыванию металла и шлака, что потребовало огнеупорных изделий более высокого качества. Перспективное огнеупорное сырье с уникальным набором свойств представляют собой магнезиальноглиноземистые шпинели. Фирма *White Circle Oxides*, Индия, выпускает спеченные шпинели серии SPINWHITE и реакционноспособные шпинели PRESPIN. После внимательного изучения компания выбрала двухстадийный процесс спекания, который позволяет эффективно решить проблему объемного расширения конечного продукта. Спеченные шпинели SPINWHITE производятся с повышенным содержанием оксида магния (магнезиальные) и с повышенным содержанием оксида алюминия (глиноземистые). Материалы отличаются низким уровнем примесей, низким содержанием щелочей и высокими показателями физических свойств.

Отличительная особенность продуктов PRESPIN состоит в том, что они образуют керамическую связку в относительно низком температурном интервале 1200 - 1300°C и, в отличие от других связующих и добавок, сохраняют свойства при более высоких температурах, действуя как

интенсификаторы спекания. Кроме того, они улучшают реологические свойства. Огнеупоры с добавкой этих материалов прошли успешные промышленные испытания в сталеразливочных ковшах на металлургических заводах Индии.

#### 4. РЕВОЛЮЦИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Synthetic Revolution / Li Zhengkun, Zhang Jiaqing // **Industrial Minerals**. 2006. № 1 (460). С. 62, 63, 65, 66. Англ.

Одной из основных тенденций развития огнеупорной промышленности является быстрый рост применения синтетических материалов ответственного назначения с повышенной огнеупорностью.

В статье представители компании *Jiangdu New Jinghui Special Refractories Co.*, Китай, освещают вопросы, связанные с последними разработками синтетических огнеупорных сырьевых материалов, которые отличаются высокими эксплуатационными качествами.

Имея в настоящее время производственные мощности 15 тыс. т/год, компания производит спеченный пластинчатый глинозем, спеченные муллиты, шпинель, спеченный кордиерит и спеченный корундобадделеитовый клинкер и другие материалы.

Спеченный глинозем нашел широкое применение в доменных печах, доменных воздухонагревателях, желобах доменных печей, чугуновозных ковшах миксерного типа, в ковшах для внепечной обработки стали, промежуточных ковшах и так далее вплоть до нагревательных печей и колодцев. Муллиты используются для производства изделий с низкой ползучестью и высокой термостойкостью, низкоуглеродистых изделий по бетонной технологии. Шпинели были использованы в рабочем слое футеровки ковшей-печей, а периклазошпинельные кирпичи — в печах для обжига цемента. Корундобадделеитовый клинкер был разработан для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик шибберных скользящих затворов, погружных стаканов и огнеупоров для стекольной промышленности.

## 5. МИР МАГНЕЗИТА

The World of Magnesite / Wilson I., Ebner F. // **Industrial Minerals**. 2006. № 462 (March). С. 54-59, 61. Англ.

Эта статья представляет собой обзор запасов магнезита в мире на сегодняшний день с указанием производства периклаза и конечных потребителей. Статья содержит следующие разделы: запасы магнезита, производство магнезита, производство периклаза, свойства магнезита и потребители, ситуация с поставками. Представлены карта мира с некоторыми месторождениями магнезита и карта Европы с указанием месторождений и некоторых управляющих компаний. В сводной таблице обобщены сведения о месторождениях магнезита в мире, типе магнезита (шпатовидный или крипстокристаллический), величине запасов, объемах производства намертво обожженного магнезита, каустического магнезита и плавленного периклаза. Разведанные запасы магнезита в мире оцениваются в 12,4 млрд т, причем, 8 стран владеют 97 % этих запасов. В 2004 г. добыто 18,9 млн т магнезита, причем 60 % произведено в Китае и России. Производство периклаза из природного магнезита составляет 8 млн т, причем, Китай доминирует на этом рынке (51 %), а на втором месте – Россия (13 %).

## 6. СТИМУЛИРУЮЩИЕ И ИЗМЕНЯЮЩИЕСЯ ВРЕМЕНА

Challenging and Changing Times / Banas D. // **Industrial Minerals**. 2006. № 462 (March). С. 62-64. Англ.

Европейское производство периклаза из магнезита подверглось в последние годы воздействию, напоминающему русские горки, что связано с высокими темпами развития Китая. Доминик Бамас, генеральный директор компании Magnesitas Navarras SA, Испания, анализирует высоты и падения этого производства в Европе и комментирует виды на будущее. В статье рассматриваются производство и рынки каустического магнезита и намертво обожженного магнезита, при этом исключены другие формы магнезиального сырья, такие как электроплавленный периклаз, высокочистый периклаз, периклаз из морской воды и др. Показано противостояние европейских и китайских производителей на европейском рынке; проанализированы изменения, происходящие на рынке ЕС; показаны тенденции применения магнезиального сырья в промышленности, прежде всего при производстве огнеупоров.

## 7. НОВЫЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЧИСТОГО ГРАФИТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

A New Process for Producing High Grade Graphite for Use in Manufacturing Mg-C Bricks in Steelmaking / Lan Y.Z., Zhang S., Wu G.Y. // *Acta Metallurgica Sinica*. 2006. 19. № 2. С. 139-143. Англ.

Используя в качестве исходного материала графит из района Панчжихуа, провинция Сычуань в Китае, авторы настоящего исследования (*Университет Yunnan* и фирма *Kunming Iron and Steel Co.*) попытались разработать новую технологию, позволяющую увеличить содержание углерода в графите с 93 до 97 %. Такой высокочистый графит способствует повышению стойкости периклазоуглеродистых изделий на заводах черной металлургии.

Эксперименты проводили следующим образом. Пробу графита взвешивали, помещали в мензурку, добавляли выщелачивающий раствор до заданного соотношения жидкой и твердой фаз L/S. Продолжительность выщелачивания начинали регистрировать после достижения заранее заданной температуры раствора. По истечении определенного времени пробу извлекали, промывали, сушили и подвергали химическому анализу.

Изучили факторы, влияющие на производственный процесс: тип выщелачивающего агента, соотношение жидкой и твердой фаз L/S, продолжительность реакции, температуру, скорость перемешивания и концентрацию выщелачивающего раствора.

В качестве выщелачивающего агента использовали серную кислоту, поскольку она сравнительно недорога, а проблемы защиты от коррозии решаются легко.

Выбрали следующие технологические параметры: L/S = 3:1, продолжительность реакции 30 мин, концентрация серной кислоты 5%, температура реакции 70°C, скорость перемешивания 200 об/мин. Удовлетворительный результат получен и при использовании в качестве выщелачивающего агента отработавшей кислоты, которая относится к отходам коксохимического производства.



## 2. ОГНЕУПОРНЫЕ БЕТОНЫ

### 8. НОВЫЕ БЕТОНЫ И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ. ЧАСТИ 1 И 2

New Castables and their Role in Advancements in Monolithic Refractories, Part 1 / Zhou N.// **Interceram**. 2006. 55. № 1. С. 24-26. Англ.

New Castables and their Role in Advancements in Monolithic Refractories, Part 2 / Zhou N.// **Interceram**. 2006. 55. № 3. С. 174-179. Англ.

Как хорошо известно, доля неформованных огнеупоров в общем выпуске огнеупоров растет во всем мире. Это связано с тем обстоятельством, что все большее число кирпичных футеровок заменяется бетонами, которые превосходят формованные огнеупоры по таким показателям, как затраты на производство, эффективность укладки, долговечность, безопасность, расход материалов и т.д. В результате применения современных высококачественных сырьевых материалов (включая сверхтонкие порошки), новых связующих материалов, эффективных добавок, оптимизированного гранулометрического состава и усовершенствованных технологий укладки был достигнут значительный прогресс в развитии неформованных огнеупоров, особенно бетонов. Эта статья посвящена новейшим разработкам в области огнеупорных бетонов и разделена на четыре части: связующие системы, новые разновидности материалов, технологии укладки и литые фасонные изделия.

По мнению автора, развитие связующих систем обеспечивает с одной стороны очищение в результате минимизации содержания примесей в связующих, с другой стороны, стабилизацию вследствие минимизации разрушения структуры из-за летучести и разложения связующих. Методы укладки развиваются в направлении удобства, упрощения и высокой эффективности. Производство чистых сталей способствует развитию новых типов бетонов, включая магниезиальные составы и системы, не содержащие оксиды. Успехи в разработке современных методов укладки и сушки стимулируют внедрение саморастекающихся бетонов, низкоцементных бетонов для мокрого торкретирования (шоткретинг), предварительно литых фасонных изделий и т.д. В связи с расширением использования бетонов в виде предварительно литых блоков, граница между «формованными» и «неформованными» огнеупорами все больше размывается.

## 9. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ В ЯПОНИИ

The Recent Developments of Castable Technology in Japan / Sugawara Mitsuo, Asano Keisuke // **UNITECR' 2005**. С. 30-34. Англ.

Производство огнеупоров в Японии существенно снизилось с 1,71 млн т в 1991 г. до 1,18 млн т в 2004 г. При этом выпуск неформованных огнеупоров снизился незначительно, что связано с расширением их применения в футеровке печей и ковшей на заводах черной металлургии. Потребление формованных огнеупоров уменьшилось в результате удлинения срока службы футеровки печей, достигнутого путем совершенствования неформованных огнеупоров и использования эффективных методов промежуточных ремонтов неформованными огнеупорами. В статье, подготовленной специалистами компании *Krosaki Harima Corp.*, Япония, описаны разработки бетонов для футеровки главных желобов доменных печей и сталеразливочных ковшей.

Для футеровки разных зон желобов доменных печей применяют разные огнеупоры: материал, содержащий 12 % SiC и с добавкой шпинели – в зоне металла, бетон с 73 % SiC – в шлаковой зоне. В процессе эксплуатации желобов проводят 4-5 ремонтов футеровки методами налива, мокрого и сухого торкретирования.

В течение последних 15–20 лет условия службы футеровки ковшей значительно усложнились, что связано с повышением температуры стали и увеличением продолжительности пребывания металла в ковшах. Несмотря на это, наблюдалось значительное снижение расхода ковшевых огнеупоров в Японии, обусловленное распространением технологии ремонта с использованием неформованных огнеупоров. Как правило, шлаковый пояс сталеразливочных ковшей выкладывают MgO-C изделиями, стены в большинстве случаев футеруют глиноземомагнезиальными бетонами, днище ковшей — глиноземошпинельными или глиноземомагнезиальными бетонами с волокнами из нержавеющей стали, а в зоне удара струи металла днища используют глиноземомагнезиальные бетоны с волокнами из нержавеющей стали.

## 10. ИЗУЧЕНИЕ ШПИНЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ В $Al_2O_3$ -MgO – БЕТОНАХ

Effects of Spinel Formation in  $Al_2O_3$ -MgO Refractory Castables / Z. X. Yang, S. H. Youn, J. J. Kim et al. // **UNITECR' 2005**. С. 129-133. Англ.

Для улучшения механических и химических свойств  $Al_2O_3$ -бетонов специалисты из Южной Кореи [Национальный университет Gyeongsang,

Джинджа (Jinju); Университет Kyungnam, Масан; Институт науки и технологии, Поханг] в их состав добавляли MgO (как наполнитель и/или порошок матрицы) и изучали формирование шпинели. Поскольку шпинель образовывалась в зонах контакта между частицами  $Al_2O_3$  и MgO, причем, объем образовавшейся на месте шпинели увеличивался необычно, были изучены тип и количество введенных MgO-добавок. Было также исследовано их влияние на такие физические свойства, как прочность и объемное расширение.

В качестве глиноземистого наполнителя использовали высокочистый плавленный глинозем из-за высокой плотности и высокой степени шпинелеобразования. Коррозионная стойкость увеличивалась с ростом добавки MgO и, чем более дисперсный порошок MgO вводили, тем лучше было остаточное расширение и тем лучше шло образование микроструктуры. Однако когда внезапно увеличивалась шпинельная фаза, вокруг зерен наполнителя появлялись пустоты, что приводило к образованию трещин. Для оптимизации остаточного расширения следует регулировать количество и гранулометрический состав MgO, принимая во внимание образование шпинели и повышение коррозионной стойкости вследствие стабилизации структуры.

Глиноземомagneзиальные бетоны имеют превосходную коррозионную стойкость при высоких температурах по сравнению с высокоглиноземистыми материалами и нашли применение в сталеразливочных ковшах, циркуляционных вакууматорах и цементных печах. Они чрезвычайно подходят для сталеразливочных ковшей, футеровка которых подвергается агрессивному воздействию факторов вторичного рафинирования.

## 11. ДОЛОМИТОУГЛЕРОДИСТЫЕ И ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

The Development of Doloma Carbon and Magnesite Carbon Castables for Steelmaking Processes / Don Griffin, Dave Ehrhart, Wayne Gerberick, Henry He // [UNITECR' 2005](#). С. 603-607. Англ.

Доломитоуглеродистые и периклазоуглеродистые формованные изделия на связке из синтетической смолы широко используются сталеплавильном производстве. Производители стали обратились к производителям огнеупоров с просьбой изготовить крупногабаритные огнеупорные блоки или блоки необычной формы для замены формованных огнеупоров в некоторых из этих областей применения (например, при изготовлении днища ковша).

В ответ на этот запрос фирма *LWB Refractories*, США, разработала доломитоуглеродистые и периклазоуглеродистые бетоны на связке из синтетической смолы, которые были использованы для производства предварительно литых блоков больших размеров. Основные бетоны были применены в тех процессах производства стали, которые требуют огнеупоров,

совместимых с основными шлаками. В качестве сырья для изготовления доломитоуглеродистых бетонов служили известковопериклазовый наполнитель, графит и фенольная смола; периклазоуглеродистые бетоны производили из высокочистого магнезиального наполнителя, графита, порошкообразного алюминия и фенольной смолы. Из этих бетонов были изготовлены днища сталеразливочных ковшей, сливной желоб конвертеров AOD (аргоно-кислородного обезуглероживания) и блоки для футеровки электродуговых печей. Литое днище ковшей может быть установлено за 20-60 мин, в то время как изготовление кирпичного днища может потребовать до 8 ч. Стойкость бетонного (на основе доломита) днища ковшей емкостью от 65 до 150 т составляет от 60 до 100 наливов.

## 12. ВЛИЯНИЕ NiO НА УСТОЙЧИВОСТЬ МАГНЕЗИАЛЬНОГО КЛИНКЕРА К ГИДРАТАЦИИ

Effect of NiO on the Slaking Resistance of Magnesia Clinker / Hiroshi Makino, Toyoyasu Obana, Akihiro Tsuchinari // [Taikabutsu overseas](#). 2005. 25. № 4. С. 277-281. Англ.

Магнезиальный клинкер имеет отличную коррозионную стойкость, но худшую устойчивость к гидратации. Ранее сообщалось о некоторых мерах по улучшению устойчивости к гидратации магнезиального клинкера, а именно: добавка таких материалов, как кремнезем, глинозем, диоксид титана; метод образования тонкой защитной пленки гидроксида магния на поверхности зерен магнезиального клинкера и метод термообработки тонкого порошка периклаза после добавления кремнийорганического соединения. Кроме того, хорошо известно, что магнезиальный клинкер с добавкой оксида бора обладает повышенной устойчивостью к гидратации. Полагали, что оксид бора не образует твердого раствора с периклазом, но присутствует на границе между зернами периклаза совместно с оксидом кальция и кремнеземом, вследствие чего играет важную роль в капсулировании зерен периклаза. Однако величина добавки невелика, что связано с участием оксида бора в образовании низкоплавких соединений.

В качестве нового метода подавления гидратации магнезиального клинкера начали поиски компонента, который образует твердый раствор с кристаллами периклаза раньше, чем формируется граничная фаза между кристаллами. Твердо установлено, что оксид бора образует с периклазом совсем немного твердого раствора, а глинозем, оксид кальция и кремнезем образуют только частичные твердые растворы. Оксид никеля (NiO) формирует заверченный (complete) твердый раствор с MgO. В настоящей работе, проведенной компанией *Itochu Ceratech Corp.*, Япония, был изготовлен магнезиальный клинкер с добавкой оксида никеля (MgO-NiO-клинкер) и исследовано влияние

NiO на устойчивость клинкера к гидратации. По мере увеличения добавки оксида никеля происходило резкое улучшение стойкости к гидратации, причем, наибольший эффект получен при введении 20 %. *Глиноземамагнезиальные бетоны с использованием MgO-NiO-клинкера, содержащего 15 % NiO*, отличались улучшенной стойкостью к гидратации и повышенной на 10-20 % коррозионной стойкостью.

### 13. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛЬТРАНИЗКОЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ГЛИНОЗЕМА

Rheological Behaviour of Ultra-Low Cement Alumina Based Castables / F. Ye, M. Rigaud, Q. Jia, X. Zhong// [Supplement to Interceram](#). 2006. 55. № 2. С. 1-4. Англ.

Реологические характеристики бетонов чрезвычайно важны для прогнозирования удобоукладываемости высококачественных бетонов, как нагнетаемых насосом, так и наносимых торкретированием. В процессе укладки бетоны подвергаются действию усилия сдвига, поскольку они перемещаются по транспортирующим шлангам с различными скоростями. Нет ничего удивительного в том, что изучение реологии бетонов стало горячей темой для обсуждения при исследованиях неформованных огнеупоров.

В этой работе были изучены реологические характеристики ультранизкоцементных бетонов на основе плавленного глинозема; при этом использовали реометр для измерения напряжений при сдвиге при различных значениях скорости сдвига. Было исследовано влияние ультратонких порошков (микрокремнезема и глинозема) и распределения частиц по размерам на реологические характеристики. Когда добавки ультратонкого глинозема и микрокремнезема в бетон используются совместно, повышение содержания микрокремнезема может привести к значительному улучшению реологических характеристик бетонов. Рекомендованы оптимальные соотношения ультратонких порошков (ультратонкий глинозем /микрокремнезем) и гранулометрический состав. Установлено, что когда указанное соотношение порошков выше, чем 50 : 50, реологические характеристики ухудшаются, а для достижения удовлетворительных высокотемпературных свойств это соотношение должно находиться в пределах от 50:50 до 25:75.

### 3. ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

#### 14. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В КИТАЕ

Development tendency of the refractories for iron & steel industry in China / Li Hongxia // [China's Refractories](#). 2006. 15. № 1. С. 3-8. Англ.

В статье дан обзор тенденций развития в области огнеупоров для черной металлургии, в том числе для новых технологий, применяемых в металлургической отрасли Китая. Описаны огнеупоры, обеспечивающие продление кампании доменных печей; огнеупоры для прямого получения железа и главные факторы повреждения в разных зонах футеровки наиболее распространенных установок COREX; огнеупоры для чугуновозных ковшей миксерного типа; металлургические процессы внепечной обработки и выплавки чистой стали и огнеупоры для получения чистых сталей. Для производства низкоуглеродистых и ультранизкоуглеродистых сталей разработаны низкоуглеродистые и безуглеродистые огнеупоры; в установках AOD вместо периклазохромитовых изделий успешно применены периклазодоломитовые, в шлаковом поясе установок ковш-печь (LF) и вакууматоров (VD) использованы безуглеродистые корундошпинельные огнеупорные изделия; разработан ряд низкоуглеродистых MgO-C – огнеупоров. Отдельная глава посвящена новейшим исследованиям в области огнеупоров для непрерывной отливки заготовок с размерами, близкими к конечным.

Для удовлетворения требований со стороны черной металлургии в будущем разработки сосредоточатся на высококачественных многофункциональных экологичных огнеупорах с длительным сроком службы. В Китае имеются значительные резервы для разработки высокосортных огнеупоров и перспективный рынок для их применения.

#### 15. ФОРМОВАННЫЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ПЕРИКЛАЗОВЫЕ И ИЗВЕСТКОВОПЕРИКЛАЗОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Shaped carbon-bearing magnesia and doloma refractories for steel industry / Othman A.G.M., Serry M.A. // [Interceram](#). 2006. 55. № 2. С. 99-103. Англ.

Отдел огнеупоров в *Национальном исследовательском центре и Национальный комитет стандартизации огнеупорной керамики, Египет*, провели исследования характеристик периклазоуглеродистых и



доломитоуглеродистых огнеупоров с перспективой их использования в футеровке сталеплавильных агрегатов и ковшей.

С этой целью из спеченного китайского магнезита и египетского доломита разной чистоты получили периклазоуглеродистые и доломитоуглеродистые брикеты. Для их изготовления выбрали в качестве источника углерода 10 – 20% чешуйчатого графита, а также надлежащее количество пека и резольной фенольной смолы (в качестве углеродистого связующего) и металлического алюминия как антиоксиданта. Стойкость к окислению, параметры уплотнения и предел прочности при сжатии полученных брикетов оценивали в увязке с фазовым составом и микроструктурой после обжига при температуре до 1500°C в восстановительной среде.

Установили, что предел прочности при сжатии периклазоуглеродистых и доломитоуглеродистых брикетов достигает максимума после термообработки при 200°C и медленно снижается при обжиге в восстановительной среде при температуре до 1000°C. Это обусловлено полимеризацией пековых/резольных компонентов с образованием тонких полых волокон, которые сохраняются при температурах до 1500°C. При повышении содержания чешуйчатого графита с 10 до 15–20 % происходит значительное снижение кажущейся плотности и повышение открытой пористости после обжига в восстановительной среде при температуре до 1500°C.

## **4. ФУТЕРОВКА КОВШЕЙ ДЛЯ РАЗЛИВКИ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ**

### **16. $Al_2O_3$ -MgO-C – ИЗДЕЛИЯ С НИЗКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**

Design Aspect of A Low Thermal Conductive  $Al_2O_3$ -MgO-C Brick for Steel Ladle / S. Mukhopadhyay , R. Eswaran, V. Bhatnagar et al. // [UNITECR' 2005](#). С. 375-378. Англ.

$Al_2O_3$ -MgO-C – изделия (АМС) широко используются в зоне металла сталеразливочных ковшей. Графит обеспечивает эрозионную стойкость к жидкому металлу, но увеличивает теплопроводность изделий, то есть улучшает термостойкость, при этом, способствует падению температуры жидкой стали и вызывает проблему «возвратных плавок». В данном сообщении фирмы Orind Refractories Ltd., Китай, описана разработка нового АМС–кирпича с микропорами, который, обладая более низкой теплопроводностью, демонстрирует высокую устойчивость к растрескиванию. В качестве исходных сырьевых материалов использовали боксит, бурый плавленный глинозем, графит и плавленный периклаз. Базовая концепция состояла в снижении содержания

графита при одновременном изменении гранулометрического состава таким образом, чтобы возникали микропоры. Содержание MgO увеличивали в определенной степени с целью повышения устойчивости к воздействию стали, раскисленной алюминием. Кирпичи прессовали под давлением 200 МПа и подвергали термообработке при 200 °С в течение 20 ч. Изделия произвели на китайском заводе и поставили на металлургический завод в Канаде, где их с успехом опробовали в 140-т ковше. Стойкость разработанных изделий составила 94 налива по сравнению с 50-75 наливками при использовании известковопериклазовой футеровки.

## 17. ШПИНЕЛЬНЫЙ БЕТОН ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА ДЛЯ ДНИЩА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Development of Improved Quality Spinel Castable for Steel Ladle Bottom / V. Bhatnagar, S. Mukhopadhyay, C. Natarajan et al. // [UNITECR' 2005](#). С. 162-166. Англ.

Трудозатраты на изготовление кирпичной футеровки днища сталеразливочных ковшей довольно велики и являются основной составляющей стоимости днища; кроме того, в процессе эксплуатации кирпичного днища происходит раскрытие швов кладки. Напротив, монолитное днище легко устанавливается за более короткое время. Данное сообщение фирмы *Orind Refractories Ltd.*, [Китай](#), посвящено разработке глиноземошпинельного бетона улучшенного качества, который превосходит глиноземомагнезиальный бетон по стойкости к шлаковой коррозии, проникновению металла и к термическому растрескиванию. Новый бетон содержит тонкомолотый шпинельный порошок. Введение шпинели способствует снижению структурного растрескивания и подавлению проникновения шлака в бетон. Гранулометрический состав шпинели оказывает значительное влияние на термостойкость, а также устойчивость к коррозии и эрозии. Разработанный бетон производится на китайском огнеупорном заводе и с высокими результатами опробован в днище 210-т установки ковш-печь на одном из металлургических заводов США. При толщине днища 300 мм, продолжительности пребывания стали в ковше 150 мин., температуре стали на выпуске 1670 °С стойкость футеровки ковша составила 85 наливов против прежних 75.

## 18. КОРРОЗИЯ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ШПИНЕЛЬНЫХ БЕТОНОВ ШЛАКОМ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Corrosion of high alumina spinel castables by steel ladle slag / Yilmaz S. // [Ironmaking and Steelmaking](#). 2006. 33. № 2. С. 151-156. Англ.



Применение высокоглиноземистых материалов с добавками шпинели и/или шпинелеобразующего периклаза существенно расширилось в последние годы. Устойчивость к воздействию ковшевого шлака является наиболее важным критерием при выборе подходящего материала. В настоящей работе, проведенной в *Стамбульском университете, Турция*, в лабораторных условиях была исследована устойчивость к воздействию ковшевого шлака глиноземошпинельных бетонов (86,4 %  $Al_2O_3$ ) двух видов (А и В). Проанализировано влияние механических свойств и химического состава на механизм износа этих материалов. Добавка периклаза в образец В увеличивала пористость и диаметр пор, но при этом снижала шлаковую коррозию огнеупоров вследствие повышенного содержания шпинели в этом образце. Сделали заключение, что химический и минералогический состав влияют на шлакоустойчивость бетонов в значительно большей степени, чем физические свойства. Кроме того, образование шпинелей с Fe и Mn в образце В по сравнению с образцом А было незначительным. Установили также, что фаза  $SA_6$ , которая образовывалась в результате реакции высокоглиноземистого цемента с реактивным глиноземом и которая равномерно распределялась в образце В, была еще одним фактором, защищающим огнеупор В от шлаковой коррозии.

## 19. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОГНЕУПОРОВ В ШЛАКОВОМ ПОЯСЕ КОВШЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОРДОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ШИН

Use of Slag-Line Refractory in Ladle for Tire Cord Steel Making / Zhao Ming // [UNITECR' 2005](#). С. 172-175. Англ.

В шлаковом поясе сталеразливочных ковшей электросталеплавильного производства фирмы *Baoshan Iron & Steel Co. (Baosteel), Китай*, провели промышленные испытания огнеупорных изделий различного состава: MgO- $Cr_2O_3$ , MgO-ZrO<sub>2</sub>-C и MgO-C. Эксперименты показали следующие результаты. Вследствие низкой термостойкости и устойчивости к проникновению шлака периклазохромитовые изделия не подходят для службы в шлаковом поясе сталеразливочных ковшей при разливке кордовых сталей для шин. Формованные огнеупоры системы ZrO<sub>2</sub>-C чувствительны к основности шлака и непригодны для использования в шлаковом поясе ковшей при меняющейся основности шлака. Огнеупорные изделия MgO-ZrO<sub>2</sub>-C с добавкой цирконового порошка могут применяться в шлаковом поясе ковшей при меняющейся основности шлака. Наконец, периклазоуглеродистые изделия с 6 % C могут работать со шлаками различной основности при относительно низких затратах.

В проведенном эксперименте срок службы шлакового пояса ковшей увеличился с 12 наливов (4 для кордовых сталей) до 18 наливов (6 для кордовых

сталей). Обсуждается внедрение других усовершенствований, таких как ремонт методом торкретирования и использование модифицированных периклазоуглеродистых изделий с добавкой сиалона.

## 20. ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК АЛЮМИНИЯ И КРЕМНИЯ НА СВОЙСТВА ПРОДУВОЧНОЙ ПРОБКИ НА ОСНОВЕ КОРУНДА

Effect of metal addition on properties of Corundum-based purging plug / Zhang Hui, Teng Guoqiang, Wang Jinxiang // [UNITECR' 2005](#). С. 368-371. Англ.

Основной причиной износа продувочной пробки на основе корунда в процессе службы является структурное растрескивание, вызванное действием расплавленного металла и вдуванием холодного газа или проникновением шлака. *Лоянский институт огнеупорных исследований* (Luoyang Institute of Refractories Research), и *Университет науки и технологии* (University of Science and Technology), Пекин, Китай, провели исследования, направленные на повышение устойчивости продувочной пробки к растрескиванию. С этой целью в состав материала на основе корунда вводили алюминий или кремний и изучали их влияние на микроструктуру и свойства материала на основе корунда, спеченного в различных средах.

При спекании на воздухе добавки алюминия и кремния пагубно влияют на кажущуюся плотность, предел прочности при изгибе и термостойкость вследствие неоднородности структуры. В дальнейшем планируется проведение исследований о влиянии металла с более высокой температурой плавления и отличной устойчивостью к окислению на характеристики продувочной пробки на основе корунда.

При спекании в атмосфере азота введенные Al и Si взаимодействуют с  $N_2$ , образуя вначале AlN и  $Si_3N_4$ , а затем – твердый раствор или с  $Al_2O_3$ , или с  $Cr_2O_3$ , что оказывает положительное влияние на предел прочности при изгибе при повышенных температурах и термостойкость.

## 21. МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ В ПРОЦЕССЕ КОРРОЗИИ MgO-C-ИЗДЕЛИЙ ШЛАКАМИ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА

Reaction Mechanisms during the Corrosion of MgO-C Refractories by Stainless Steel Slags under Vacuum Conditions / Guo M., Parada S., Jones P.T. // [UNITECR' 2005](#). С. 278-282. Англ.

Поведение периклазоуглеродистых огнеупоров на пековой связке при коррозионном воздействии шлака системы  $CaO-SiO_2-MgO-Al_2O_3-Cr_2O_3$  исследовано в Бельгии [ *Department of Metallurgy and Materials Engineering (K.U. Leuven)* ] в вакуумной индукционной печи при высокой температуре и

низком парциальном давлении кислорода. В этой печи были смоделированы условия проведения процесса VOD (вакуумно-кислородного обезуглероживания). Механизм разрушения огнеупоров изучали путем исследования микроструктуры после службы. Реакция  $MgO-C$  является основным механизмом обезуглероживания, в то время как обезуглероживание кислородом из атмосферы и/или восстанавливаемыми компонентами шлака ограничено условиями испытания. В настоящем исследовании рассмотрены механизмы обезуглероживания и образования металлических частиц трех видов, различающихся по размеру, форме и составу.

Заклучили, что описанная в статье экспериментальная методика лабораторных исследований является отличным инструментом для глубокого изучения механизма разрушения огнеупоров в промышленных металлургических процессах.

## 22. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ В УСЛОВИЯХ РОСТА ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЕЙ

Improvement of Steel Ladle Refractories under High Production / Norio Sakaguchi, Shinichi Maeda // [UNITECR' 2005](#). С. 385-389. Англ.

С целью увеличения выпуска таких сталей, как подшипниковые, кордовые для автомобильной промышленности, с низким содержанием фосфора, низким содержанием серы, а также увеличения мощностей по ковшевому рафинированию компания *Kobe Steel* на заводе в Какогава, Япония, в ноябре 2004 г. ввела комплекс оборудования № 3 RH-MRP (Multi Refining Process – многосторонний процесс рафинирования) в дополнение к существующему агрегату LF (ковш-печь). В результате условия службы огнеупоров существенно усложнились.

В докладе описаны меры, предпринятые компанией *Kobe Steel* совместно с компаниями *Shinagawa Refractories Co.* и *Ceratechno Co.*, по совершенствованию бетонов для зоны удара струи металла в днище, гнездовых блоков для пористой пробки, ремонта верхней части футеровки стен, а также меры по снижению вероятности просачивания стали.

В зоне удара струи использовали улучшенный глиноземомагнезиальный бетон (90 %  $Al_2O_3$ , 1 %  $SiO_2$ , 5 %  $MgO$ ), применение которого позволило подавить растрескивание футеровки в этой зоне и обеспечить срок службы 100 наливов. Верхнюю часть футеровки стен ремонтировали низкоцементными бетонами (шоткретинг) и, кроме того, ширина шлакового пояса была увеличена на два ряда кладки вниз. Для предотвращения просачивания стали в процессе внепечной обработки стали была внедрена система мониторинга температуры

кожуха. В результате применения указанных и других усовершенствований срок службы футеровки ковшей увеличился на 24 %.

### 23. УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ НА ЗАВОДЕ ФИРМЫ THYSSENKRUPP STAHL AG

Improvement of the refractory performance of steel ladles at ThyssenKrupp Stahl AG / Ploch Andreas, Lindner Chris, Schütz Carl Heinz // **UNITECR' 2005**. С. 390-394. Англ.

В результате ввода МНЛЗ в составе агрегата CSP (CSP – Compact Strip Production, компактное производство полосы) и установки ковш-печь на заводе фирмы *ThyssenKrupp Stahl AG* в Брукхаузене, Германия, произошло значительное усиление износа огнеупоров в футеровке ковшей. Затраты на ковшевые огнеупоры в конвертерном цехе с двумя 380-т конвертерами с комбинированной продувкой выросли на 30 %. Для обеспечения безопасности производства и снижения затрат был проведен ряд мероприятий, среди которых следует отметить следующие: оптимизация ковшевого шлака в агрегате ковш-печь; разработка схемы футеровки ковшей из высококачественных огнеупорных изделий; измерение остаточной толщины огнеупоров с помощью лазерного устройства; разработка процедуры быстрого горячего ремонта ковшей бетонами и внедрение манипулятора, который позволяет торкретировать любую зону ковша. Усовершенствованная схема футеровки была следующая: шлаковый пояс выкладывали периклазоуглеродистым кирпичом из плавленого периклаза с содержанием углерода 12-15 %; в периклазоуглеродистых изделиях стен с добавкой плавленого периклаза содержание углерода составляло 7 %, зону удара струи металла в днище ковша футеровали алюмопериклазоуглеродистыми изделиями на связке из синтетической смолы. Осуществление указанных мер привело к повышению стойкости ковшей с 65 до 110 наливов, а затраты на огнеупоры снизились до уровня, который существовал перед началом работы агрегата CSP.

### 24. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕРМО- МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ОГНЕУПОРОВ В КОВШАХ КОМПАНИИ ESFAHAN STEEL CO.

FEM Simulation of the Thermo-Mechanical Behaviour of Refractories Used in Ladles of Esfahan Steel Company / A. R. Hanifi, A. Eilaghi, A. Salary et al. // **UNITECR' 2005**. С. 157-161. Англ.

Компания *Esfahan Steel Co.*, относящаяся к крупнейшим производителям стали в Иране (2,2 млн т в год), считает чрезвычайно важным обеспечение

высокой стойкости футеровки металлургических агрегатов и сталеразливочных ковшей. В связи с этим необходимо понимание термомеханических свойств огнеупоров и их поведения под воздействием термических ударов. В настоящей работе, проведенной *Иранским Университетом науки и технологии* совместно с *Университетом Миссури-Ролла, США*, изучены термомеханические нагрузки, действию которых подвергаются огнеупоры и стальной кожух ковшей во время предварительного нагрева, перед выпуском из конвертера и после выпуска стали из конвертера.

Компания *Esfahan Steel Co.* эксплуатирует три 130-т конвертера, 10 ковшей, установку ковш-печь, в которой обрабатывается около 50 % всех плавов, и МНЛЗ. Рабочий слой футеровки ковшей полностью выложен доломитовыми огнеупорами, изоляционный слой – шамотными. В этом исследовании использовали программу ANSYS, версия 5.4, что позволило смоделировать поведение огнеупоров и стального кожуха в процессе службы. Выпуск стали из конвертера в ковш вызывал наиболее высокое напряжение в огнеупорах. Максимальные напряжения в стальном кожухе наблюдали в верхней части ковша, что приводило к деформации в этой зоне.

## 25. УЛУЧШЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ (ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ) ОГНЕУПОРНОЙ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Improving the Structural Integrity of Steel Ladle Refractory Linings / Shewmon David E., Porter William N. // **UNITECR' 2005**. С. 152-156. Англ.

Эта работа, выполненная компаниями *Mayerton Refractories (USA) LLC; Allied Mineral Products Inc.*, обе *США*, посвящена оптимизации формы изделий, используемых в рабочем слое футеровки сталеразливочных ковшей, и типа материалов, применяемых в защитном слое футеровки, для получения более надежной футеровки ковшей с улучшенной конструктивной целостностью и сниженным проникновением металла. Поскольку условия службы огнеупоров в сталеразливочных ковшах становятся все более жесткими, то, принимая во внимание присущие полууниверсальному (semi-universal) формату кирпичей недостатки, пришли к необходимости усовершенствования критериев конструкции футеровки ковшей, которые должны выработать совместно металлурги, производители огнеупоров и проектировщики ковшей.

Для ограничения или снижения растрескивания огнеупорных изделий и проникновения стали через рабочий слой кирпичной кладки выработаны следующие рекомендации: применение в рабочем слое арочных кирпичей или изделий «Р»-формы; изготовление защитного слоя сухим виброформованием;

усиление защитного слоя изоляцией с использованием легковесных сухих вибросмесей; использование «холодной» изоляции перед стальным кожухом.

## 26. ВЫБОР ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Refractories Selection for Steel Ladles / Marco Antônio Quintela, Fábio Duarte Santos, Celso Anízio Pessoa et al. // [UNITECR' 2005](#). С. 380-384. Англ.

Представлены результаты лабораторных испытаний четырех видов MgO-C-изделий от различных поставщиков, предназначенных для футеровки шлакового пояса сталеразливочных ковшей. Испытания проводили специалисты компании *Usiminas Steelworks* и *Федерального университета São Carlos, Бразилия*.

На заводе в Ипатинга (Ipatinga) компании *Usiminas Steelworks* в обороте находятся 20 ковшей емкостью 160 т, футерованные в шлаковом поясе MgO-C-изделиями (152 мм), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO-C-изделиями – в области стен (152 мм) и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C-изделиями – в днище (229 мм). Начиная с конца 90-х годов прошлого века, металлурги *Usiminas Steelworks* усилили меры, направленные на повышение стойкости футеровки сталеразливочных ковшей. Основное внимание сосредоточили на MgO-C-изделиях для шлакового пояса, который представляет критическую зону. Среди отобранных промышленных изделий два вида были изготовлены на связке из синтетической смолы, а два других содержали в качестве связующего пек.

Сочетание результатов, полученных в лабораторных условиях, с результатами промышленного применения помогло определить критерии выбора огнеупоров для сталеразливочных ковшей. Установили, что одной из важнейших характеристик огнеупоров при конструировании огнеупорной футеровки является устойчивость к механическим и термическим напряжениям.

## 5. ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

### 27. ВНУТРЕННЯЯ ЭРОЗИЯ ПОГРУЖАЕМЫХ СТАКАНОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ КАК ФУНКЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ Al, Si и Ca

Internal Erosion in Submerged Entry Nozzles of Continuous Steel Casters as a Function of Al, Si and Ca Concentrations in the Nozzle Wall / Devic S., Jokanovic V., Logar M. // [Interceram](#). 2006. № 3. С. 180, 182-185. Англ.



Образование отложений на внутренней поверхности стенок погружаемых стаканов является одной из наиболее серьезных проблем в непрерывной разливке, приводящей к уменьшению внутреннего диаметра стакана. В этой работе, проведенной группой специалистов под руководством S. Devic, *Белградский университет*, бывшая Югославия, исследовали процесс образования отложений на внутренней поверхности стенок погружаемых стаканов при непрерывной разливке стали и возможности предотвращения или, по крайней мере, ограничения этого явления.

В статье показаны результаты, полученные на основе экспериментов, осуществленных в конвертере и на МНЛЗ металлургического завода Sartid Smederevo в течение пяти месяцев с использованием большого числа погружаемых стаканов. Рентгеновская флуоресцентная спектрометрия (X-ray fluorescence spectrometry - XRF) стенок корундографитовых погружаемых стаканов после процесса разливки стали выявила изменения содержания Al, Si и Ca в погружаемых стаканах. Результаты измерений толщины стенок стаканов и изменений содержания Al, Si и Ca в зоне контакта стаканов со сталью показали наличие взаимосвязи между внутренней эрозией и содержанием Al, Si и Ca в стенках погружаемых стаканов.

## 28. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА РАЗЛИВОЧНОГО СТАКАНА НА СКОРОСТЬ ЗАРАСТАНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ СТАЛЕЙ, РАСКИСЛЕННЫХ АЛЮМИНИЕМ

Effect of nozzle base material on the rate of clogging during the continuous casting of aluminium-killed steels / Luis Trueba Jr, Kent D. Peaslee, Jeffrey D. Smith, Musa Karakus // [Steel Research International](#). 2006. 77. № 1. С. 37-47. Англ.

Один из подходов к решению проблемы зарастания разливочного стакана при непрерывной разливке сталей, раскисленных алюминием, состоит в тщательном подборе материалов стакана. В этой работе, проведенной на кафедре металлургического машиностроения и кафедре технической керамики в *Университете штата Миссури*, США, измеряли скорость зарастания при разливке стали через модели стаканов, изготовленные из корунда, бадделеита, периклаза, бадделеитографитового и корундографитового материалов – трех наиболее распространенных базовых материалов и двух широко распространенных углеродсодержащих материалов для стаканов. Стаканы после службы изучали методами оптической и катодолюминесцентной микроскопии.

В корундовых, бадделеитовых и бадделеитографитовых стаканах не наблюдали взаимодействия материала стакана со сталью. В периклазовых стаканах наблюдали слабое взаимодействие, в этом случае глиноземистые

включения в стали взаимодействовали с материалом стакана с образованием глиноземомагнезиальной шпинели. Более сильное взаимодействие наблюдали в корундографитовых стаканах. Не отметили статистического различия между средними скоростями зарастания стаканов из чистых оксидов и бадделеитографитовых. Однако корундографитовые стаканы зарастали гораздо быстрее, чем стаканы из других материалов. Считают, что повышенная скорость зарастания обусловлена взаимодействием огнеупора со сталью.

## 29. НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАКАНОВ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ (УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПЫТАНИЯ НА ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ)

Nonlinear Finite Element Analysis of Nozzles for Continuous Casting (Elastic-Plastic Analysis of Thermal Shock Test by Water Cooling) / Hidetoshi Kamio, Mitsuo Sugawara, Keisuke Asano et al. // [Taikabutsu overseas](#). 2005. 25. № 4. С. 265-272. Англ.

Для оценки термостойкости стаканов для непрерывной разливки обычно используется анализ методом конечных элементов, причем в большинстве случаев применяется линейный анализ. Однако, поскольку нельзя отбрасывать влияние при высоких температурах нелинейных свойств, таких как ползучесть и пластичность, появилась потребность в освоении нелинейного метода конечных элементов для оценки термостойкости стаканов.

Настоящее исследование было проведено компанией *Krosaki Harima Corp.*, Япония, чтобы доказать эффективность нелинейного анализа методом конечных элементов с учетом пластичности. Для определения упруго-пластических свойств материалов были проведены испытания на прочность при трехточечном изгибе и построены кривые нагрузка–смещение. Зависимости между напряжениями и деформацией материалов были определены с использованием метода конечных элементов. Испытания на термостойкость были проведены на образцах и результаты линейного упругого анализа сравнили с данными нелинейного анализа, в котором использованы упруго-пластические свойства материала.

В описанном испытании стакан охлаждали снаружи водой и после термоудара наблюдали растрескивание внутри стакана. По результатам линейного анализа, внутри стакана растягивающее напряжение отсутствовало. Напротив, нелинейный анализ показал возникновение этого напряжения вследствие изменения температуры, что находится в полном соответствии с наблюдаемым явлением трещинообразования.



## 6. ФУТЕРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

### 30. РАЗРАБОТКА БЕСХРОМИСТЫХ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ЗОНЫ СПЕКАНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Development of Chrome-Free Bricks for the Burning Zone of Cement Rotary Kilns / Takao Takada, Yoshiyuki Watanabe, Takashi Umezawa // [Taikabutsu overseas](#). 2005. 25. № 4. С. 273-276. Англ.

Во вращающихся печах для обжига цементного клинкера используются различные типы огнеупоров, однако в зоне спекания расширяется применение бесхромистых изделий вместо периклазохромитовых. В технологическом исследовательском центре компании *Yotai Refractories Co.*, Япония, разработали бесхромистые периклазошпинельные изделия для службы в условиях высоких термических нагрузок и оценили их эксплуатационные характеристики.

При проведении исследований сконцентрировались на повышении стойкости к эрозии. Для предотвращения реакции с цементом изделия имели высокое содержание MgO и низкое содержание  $Al_2O_3$ , который взаимодействует с цементом.

Для улучшения сцепления покрытия (обмазки), образующегося на поверхности футеровки, и матрицы огнеупоров использовали электроплавленный периклаз, содержащий  $Fe_2O_3$  и  $ZrO_2$ . Прочность сцепления увеличивалась в результате образования соединений  $CaZrO_3$  (высокая температура плавления) и  $4 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ , которые образуются на рабочей поверхности.

При промышленных испытаниях разработанные огнеупоры (90 % MgO; 3 %  $Al_2O_3$ ; 5 %  $ZrO_2$ ) показали более высокую стойкость по сравнению с ранее применявшимися.

### 31. ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ С ПОВЫШЕННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ АБРАЗИВНОМУ ИЗНОСУ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Development of Abrasion Resistance High-Alumina Bricks for Preheaters of Cement Rotary Kilns / Kazunari Imai, Takashi Umezawa, Eiji Hosoi // [Taikabutsu overseas](#). 2005. 25. № 4. С. 282-286. Англ.

В последние годы в цементной промышленности расширяется применение отходов в качестве топлива и сырьевых материалов. Отработанные покрывки, масло, пластмасса используются как топливо, а различные шлаки, угольная зола, пепел – как сырьевые материалы. Вторичные сырьевые материалы как правило заменяют глину. Соотношение  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  в большей части отходов ниже, чем в глине, поэтому часто увеличивают долю кварцевого песка с целью компенсации недостаточного содержания кремнезема.

Известно, что кварцевый песок характеризуется высокой твердостью и его дробленые зерна имеют острые углы, что приводит к значительному абразивному износу. В теплообменниках цементных печей огнеупоры иногда очень сильно истираются на участке, в который прямо ударяются сырьевые материалы, переносимые струей горячего воздуха. Неформованные огнеупоры или безобжиговые изделия в верхнем циклоне и зонах вокруг него не достигают полной прочности в спеченном состоянии, поскольку температура находится на уровне 500 °С. Дробленые с острыми углами зерна кварцевого песка при ударе вызывают повышенный абразивный износ.

Исследовательская лаборатория фирмы *Yotai Refractories Co.*, Япония, разработала высокоглиноземистые изделия с повышенным сопротивлением абразивному износу в сравнении с обычными безобжиговыми высокоглиноземистыми изделиями. Новые изделия (81 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 18 %  $\text{SiO}_2$ ) содержат фосфатную добавку и подвергаются обжигу при 1200 °С.

## 32. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ГИДРАТАЦИИ БЕСХРОМИСТЫХ ОСНОВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Improvement of the Slaking Resistance of Chrome-Free Basic Bricks for Cement Rotary Kilns / Yukie Nakano, Makoto Ohno, Kozo Tokunaga // [Taikabutsu overseas](#). 2005. 25. № 4. С. 282-286. Англ.

Как известно, для цементных печей широко используются бесхромистые основные огнеупорные изделия, которые не оказывают вредного влияния на окружающую среду. Следовательно, существует потребность в улучшении стойкости к гидратации складированных (резервных) изделий, которые могли бы храниться в течение длительного времени.

Исследовательская лаборатория фирмы *Mino Ceramic Co.*, Япония, провела лабораторные испытания образцов крупнозернистых и тонкозернистых сырьевых материалов, а также периклазошпинельных изделий, изготовленных из этих материалов, в термогидростате при температуре 74 °С и относительной влажности 94 %. Устойчивость к гидратации оценивалась по увеличению массы каждого образца во времени. Бесхромистые изделия, разработанные на основе

этих испытаний, были опробованы в зоне спекания вращающихся печей для обжига цементного клинкера. Установили, что важную роль играет фаза, образующаяся по границам зерен периклаза, поэтому устойчивость к гидратации бесхромистых периклазошпинельных изделий может быть улучшена путем регулирования состава этой фазы.

### 33. НОВЫЕ БЕСХРОМИСТЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ЗОНЫ СПЕКАНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Newly Developed Chrome-Free Basic Bricks for the Sintering Zone of Cement Rotary Kilns /Makoto Ohno, Kozo Tokunaga, Yoshiki Tsuchiya, Hisao Kozuka // [Taikabutsu overseas](#). 2005. 25. № 4. С. 290-294. Англ.

В последнее время быстрыми темпами растет применение бесцементных огнеупорных изделий в зоне спекания вращающихся печей для обжига цементного клинкера (далее – цементные вращающиеся печи). Компания *Mino Ceramic Co.*, Япония, поставляет бесхромистые огнеупоры следующих четырех систем: 1) периклаз – цирконат кальция, 2) магнезиальноглиноземистая шпинель со специальным клинкером и добавкой бадделеита, 3) магнезиальноглиноземистая шпинель с добавкой оксида железа, 4) магнезиальноглиноземистая шпинель. За исключением случаев использования в печах с жесткими условиями эксплуатации, бесхромистые изделия на основе магнезиальноглиноземистой шпинели имеют некоторые преимущества, такие как налипание покрытия, коррозионная устойчивость к цементному клинкеру, устойчивость к структурному растрескиванию, гибкость (приспособляемость к механическим напряжениям). Этими изделиями полностью выкладывали зону спекания, которая демонстрировала хорошие эксплуатационные характеристики. Однако в условиях высоких тепловых нагрузок отмечались случаи повышенного износа футеровки в этой зоне вследствие растрескивания и коррозии.

В связи с этим были разработаны бесхромистые огнеупорные изделия, сочетающие высокую коррозионную стойкость и улучшенную термостойкость. Такое сочетание достигнуто путем снижения содержания шпинели в сравнении с обычными изделиями и образования микротрещин при расширении шпинели в процессе обжига огнеупоров. Разработанные изделия прошли успешные промышленные испытания в зоне спекания цементных вращающихся печей, включая печи большого диаметра.

## 7. ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ И ПЛАВКИ ОТХОДОВ

### 34. БЕСХРОМИСТЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ $MgO-TiO_2-Al_2O_3$ ДЛЯ ПЕЧЕЙ ПЛАВКИ ОТХОДОВ

Corrosion Behavior of Cr-Free  $MgO-TiO_2-Al_2O_3$  Bricks for Waste Melting Furnaces / Masaaki Mishima, Hideyuki Tsuda, Toshiyuki Hokii, Keisuke Asano // [Taikabutsu overseas](#). 2005. 25. № 4. С. 300-304. Англ.

Для того, чтобы сделать отходы безвредными и снизить их конечный объем, в настоящее время существует потребность в замене сжигания и закапывания отходов методом их плавления. Печи для плавления отходов делятся на два основных типа. Один из них – это печи для плавления золы, в которых плавят золу и золу-унос, образующуюся в печи для сжигания отходов. Печи другого типа – это плавильные агрегаты на газовом топливе, в которых отходы плавятся как есть и при этом образуется шлак отходов. Этот высокотемпературный шлак имеет низкую основность ( $CaO/SiO_2 = 0.5-1.2$ ) и содержит значительное количество щелочных ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ ) и кислотных ( $Cl$ ,  $SO_3$ ) компонентов, так что коррозионные условия службы футеровки стен в печах для плавки отходов чрезвычайно жесткие.

В настоящее время безоксидные огнеупоры используются в восстановительной атмосфере, а оксидные огнеупоры, содержащие  $Cr_2O_3$ , — в окислительных условиях.  $Cr_2O_3$  обладает высокой коррозионной стойкостью к шлакам с широким спектром составов, однако  $Cr_2O_3$  легко образует соединения, содержащие шестивалентный хром. Согласно стандартам качества окружающей среды, шестивалентный хром считается вредным для здоровья людей, поэтому необходима и ожидается организация поточного производства бесхромистых огнеупоров.

Имеются сообщения о бесхромистых бетонах для печей для плавки отходов и о бесхромистых изделиях, таких как огнеупоры системы периклаз – диоксид титана – глинозем, периклазошпинельные и периклазоуглеродистые, для черной металлургии и цементной промышленности. Фирма *Krosaki Harima Corp.*, Япония, занимается разработкой бесхромистых огнеупоров, показывающих такую же или более высокую долговечность по сравнению с периклазохромитовыми или глиноземохромитовыми огнеупорными изделиями в футеровке печей для плавки отходов. В статье описаны лабораторные исследования огнеупоров  $MgO-TiO_2-Al_2O_3$  и результаты успешных промышленных испытаний в печи для плавки отходов (температура в печи –  $500 \sim 1500$  °С, атмосфера – окислительная, температура шлака –  $1400 \sim 1500$  °С, основность шлака – 0,68, реальное рабочее время – 240 ч).

## 35. МИКРОПОРИСТЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ РАБОТЫ В КОНТАКТЕ С РАСПЛАВЛЕННЫМ АЛЮМИНИЕМ, ЧАСТИ 1 И 2

Micro-Porous Castable Refractory for Molten Aluminum – Part 1 / McGowan Kenneth A., Beaulieu Peter A. // [Industrial Heating](#). February 18, 2006. 6 с. Англ.

Micro-Porous Castable Refractory for Molten Aluminum – Part 2 / McGowan Kenneth A., Beaulieu Peter A. // [Industrial Heating](#). April 4, 2006. 5 с. Англ.

Совершенствование огнеупоров вносит существенный вклад в экономию энергии при производстве алюминия. В статье, представленной специалистами компании *Westmoreland Advanced Materials*, США, рассматриваются явления, возникающие на контактной поверхности расплавленного алюминия / огнеупор, а также обсуждается разработка новых составов огнеупорных бетонов для минимизации негативных воздействий. Состав разработанного бетона таков, что алюминий не прилипает к нему и не проникает внутрь футеровки, корунд не образуется изнутри, а любой «наружный» корунд сильно не прилипает. Микропористая природа бетона обеспечивает значительные изоляционные возможности и в результате – снижение потребления энергии. Бетон имеет пористость 60 % со средним размером пор менее 5 мкм; содержание кремнезема в нем ниже 0,3 %; коэффициент теплопроводности – 0,69 Вт/м·К; максимальная температура службы – 1370 °С.

Потребители, которые провели промышленные испытания бетона, отметили, что операции очищения занимают меньше времени и футеровка печей (отражательной, печи-миксера и т.д.) изнашивается в меньшей степени при использовании микропористого бетона.

## 8. УТИЛИЗАЦИЯ ОГНЕУПОРОВ

### 36. УТИЛИЗАЦИЯ И РЕГЕНЕРАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ

Reuse and reproduction of used refractories / TIAN Shouxin, YU Yanwen // [China's Refractories](#). 2006. 15. № 1. С. 21-24. Англ.

В статье, написанной специалистами *Технологического центра фирмы Baosteel*, Шанхай, Китай, и *Тяньцзиньского университета*, Китай, анализируются состояние и тенденции развития рециклинга использованных огнеупоров в Китае и других странах, а также достижения в разработке способов оборотного использования огнеупоров, в том числе MgO-C – изделий, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO-C – изделий, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C – бетона и MgO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – изделий. Огнеупоры из

вторичного сырья часто демонстрируют такие же или даже более высокие свойства, чем продукты из свежего сырья..

Основная масса огнеупорного лома в Китае не находит никакого применения, и лишь незначительную часть используют повторно как сырье в огнеупорном производстве. Захоронение огнеупорного лома – это не только расточительное отношение к природным ресурсам, но и вред окружающей среде. С огнеупорным ломом связаны такие загрязняющими факторы как: 1) пыль; 2) силикоз, вызванный пылевидным кристаллическим кремнеземом; 3) радиоактивность циркониевого сырья; 4) канцерогенность шестивалентного хрома; 5) канцерогенность огнеупорных волокон и асбеста; 6) загрязнители из состава летучих и продуктов термического разложения пека и смолы. Между тем огнеупорный лом может быть переработан в сырьевые материалы, которые имеют высокую отпускную цену и служат высококачественными вторичными ресурсами. Обратное использование огнеупорного лома становится важным элементом производства для огнеупорных предприятий не только как фактор экономии минеральных ресурсов и энергоносителей и уменьшения загрязнения среды, но также как средство снижения затрат на производство огнеупоров и продукции черной металлургии.

В настоящее время степень рециклинга использованных огнеупоров на китайской металлургической фирме Baosteel очень мала, но в этом направлении развернуты научно-исследовательские работы. Результаты исследований показывают, что возможно производство высококачественных MgO-C – изделий из сырья с 97%-ной долей переработанного огнеупорного лома.

### 37. УТИЛИЗАЦИЯ ОГНЕУПОРОВ MgO-C В ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧАХ НА ЗАВОДЕ LÁZARO CÁRDENAS КОМПАНИИ «МИТТАЛ СТИЛ»

Recycling MgO-C Refractory in the E.A.F. of Mittal Steel Lázaro Cárdenas / R.G. Lule Gonzalez, F. Lopez Acosta, R. Rodriguez Tapia et. al. // [Iron & Steel Technology](#). 2006. 3. № 2. С. 76 – 84. Англ.

Компания *Mittal Steel* на своем заводе Lázaro Cárdenas, известном ранее под названием Ispat Mexicana (IMEXSA), Мексика, в 2004 г. выпустила 4,03 млн. т стали. В сталеплавильном цехе работают четыре 220-т дуговые электропечи и две установки ковш-печь. Футеровка дуговых печей и установок ковш-печь почти на 100 % выполнена из огнеупоров MgO-C (за исключением днища ковшей, которое выкладывается огнеупорами Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C). В настоящее время срок службы огнеупорной футеровки дуговых печей составляет около 480 плавов с локальными ремонтами участков перегрева и других зон повышенного износа, а стойкость ковшей — 165 плавов с локальными ремонтами футеровки шлакового



пояса и днища после выпуска 80 плавков. При замене отслужившей футеровки на новую в сталеплавильном цехе образуется более 5000 т/год отработанной футеровки (1200 и 3800 т/год от печей и ковшей соответственно).

В статье описаны суммарные выгоды, полученные при введении отработанных огнеупоров после сортировки и дробления в дуговые электропечи. Обеспечены преимущества не только с точки зрения экономики и защиты окружающей среды, но также и с точки зрения технологии в результате улучшения характеристик вспенивающегося шлака. Обсуждено влияние рециклинга огнеупоров на расход электроэнергии, флюсующих добавок и огнеупоров.

Повторное использование 1 т огнеупоров / плавку на начальном этапе технологического процесса улучшает свойства и характеристики пенящегося шлака, что ведет к снижению потребления электроэнергии, увеличению срока службы огнеупоров за счет достижения концентрации MgO близкой к пределу насыщения, снижению расхода флюсов и времени плавления. Экономический эффект оценивается в 1,26 млн.долл. США/год на одну печь.

## **9. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ОГНЕУПОРОВ**

### **38. ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЙ В ОГНЕУПОРАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМОУДАРА ПО СКОРОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИМПУЛЬСА**

Evaluation of thermal shock damage in refractory materials by ultrasonic pulse velocity testing / Leonelli C., Romagnoli M., Kamseu E. // [UNITECR' 2005](#). С. 960-964. Англ.

В *Университете Модена, Италия*, контроль скорости прохождения ультразвука был использован для неразрушающего количественного определения повреждений под действием термоудара в кордиерито-муллитовых огнеупорных плит, представляющих собой подставки для обжига фарфоро-фаянсовых изделий.

Под влиянием промышленных термоциклов в огнеупорах происходит зарождение и/или распространение трещин, что приводит к потере прочности и разрушению материала. Образование трещин снижает скорость распространяющихся в огнеупоре ультразвуковых импульсов, которая зависит от плотности и упругих свойств материала. Следовательно, измерение одного из этих свойств может напрямую контролировать развитие уровня повреждения под действием термоудара. С использованием измеренных величин скоростей ультразвука был рассчитан модуль упругости представительной выборки.

Для оценки огнеупорных образцов использовали промышленный прибор ультразвукового контроля трансмиссионного типа (PUNDIT plus PC 1006). Прибор состоит из импульсного генератора и схемы синхронизации, связанной с двумя преобразователями (150 кГц), которые размещались вручную на противоположных сторонах каждой опытной плиты. Каждый преобразователь имел резиновый наконечник толщиной 1,6 мм, что связано с шероховатостью поверхности огнеупоров. Результаты сравнили с промышленными статистическими данными по изменению характеристик исследованных материалов под действием термоудара. В этом исследовании показана возможность использования метода прохождения ультразвука для простого, чувствительного и надежного определения параметров повреждений под действием термоудара.

### 39. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОГНЕУПОРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЙ

Rheometric Techniques Applied to Refractory Ceramic Suspensions / R.D. dos Anjos, M.R. Ismael, R. Salomão, V.C. Pandolfelli // [Refractories Applications and News](#). 2006. 11. № 2. С. 8-13

Керамические суспензии представляют большой технологический и научный интерес вследствие многочисленных областей их применения. Тем не менее, использование методики определения реологических свойств для оценки керамических суспензий почти не изучали в сравнении с другими системами, в частности, полимерами. В настоящей работе, выполненной в *Федеральном Университете Sao Carlos, Бразилия*, представлен новый подход к определению реологических свойств керамических суспензий, основанный на системной оценке характеристик суспензии от смешивания и литья до отвердевания и специально разработанный для этих суспензий. Эта методика поможет дальнейшему осмыслению структуры этих материалов и их взаимодействия с такими добавками как связующие и диспергаторы. Чтобы показать применимость этой методики, провели измерения вязкости, модуля разрушения, нормального (осевого) усилия и других параметров золь системы глинозем–кремнезем. Обнаружили, что применение ультразвука улучшает диспергирование, но может привести к повышению температуры. Измерения вязкости показали, что кремнезоль без использования других добавок не способствует диспергированию.

Полученные результаты служат основой для дальнейших исследований керамических суспензий с кремнезолью в качестве связующего вещества для огнеупорных бетонов.



## 40. МЕТОД ОЦЕНКИ И МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВНОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ

Test methods and preventive measures for explosive spalling of castable refractories / Takazawa K., Noda Y., Fukami N. // [Taikabutsu overseas](#). 2005. 25. № 4. С. 295-299

Взрывное растрескивание, которое возникает при высокотемпературной сушке монолитной футеровки печных агрегатов, приводит к ее повреждению и уменьшению срока службы, а в более тяжелых случаях вынуждает останавливать работу печи и проводить ремонт. Кроме того, явление взрывного растрескивания представляет опасность для персонала, так как сопровождается разбросом осколков огнеупора.

Считают, что взрывное растрескивание связано с целым рядом факторов, в числе которых структура и физико-механические свойства затвердевшего материала, форма профиля агрегата, скорость нагрева. Для их выяснения к настоящему времени проведены разнообразные исследования, касающиеся в частности зависимости между прочностью и газопроницаемостью, которые влияют на стойкость к взрывному растрескиванию, а также воздействия давления водяного пара в объеме огнеупора.

Авторам этой работы удалось воспроизвести взрывное растрескивание в испытательной лаборатории; в статье описывают полученные результаты и обсуждают меры предотвращения растрескивания, предложенные на их основе.

В этой работе фирма *Plibrico Japan Co.*, Япония, провела испытания двухслойных огнеупорных панелей, состоящих из высокопрочных и теплоизоляционных бетонов, воспроизведя условия службы в промышленном агрегате. С этой целью изготовили панели, имитирующие стенки реального агрегата, подвергли их нагреву и проверили на возникновение взрывного растрескивания

Опробовали различные меры предотвращения растрескивания; убедились в эффективности таких приемов, как выполнение отверстий в стальном кожухе, исключение резких колебаний температуры, а также длительная высокотемпературная выдержка.

# 10. СТАТИСТИКА И ЦЕНЫ

## 41. СТАТИСТИКА ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПОТРЕБЛЕНИЮ ОГНЕУПОРОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЯПОНИИ

Statistics // Journal of the Technical Association of Refractories, Japan. 2005. 25. № 4. С. 321.  
АНГЛ., ТЫС. Т

Таблица 1. ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ В ЯПОНИИ В 1999–2005 гг.<sup>1)</sup> (по данным Японской ассоциации огнеупоров)

Виды огнеупоров	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005 апрель- сентябрь
<b>Огнеупорные изделия</b>							
Шамотные	128,0	131,8	114,0	101,6	85,6	82,7	42,2
Высокоглиноземистые	92,5	104,6	94,3	90,1	82,1	73,9	34,4
Глиноземуоглеродистые	48,4	49,0	40,3	39,1	30,7	29,2	14,6
Кремнеземистые	2,1	2,8	2,0	2,3	0,5	0,4	0,6
Хромитопериклазовые	73,6	77,4	64,2	50,3	40,8	40,2	19,4
Периклазоуглеродистые	90,6	93,8	84,5	90,6	76,3	65,3	35,3
Известковопериклазовые	4,8	5,5	4,3	3,9	3,2	3,7	1,5
Цирконовые	16,5	18,9	15,6	15,4	13,3	12,9	6,8
Карбидкремниевые	15,1	14,9	14,8	12,6	12,3	11,4	4,9
Теплоизоляционные	9,6	10,9	6,1	5,2	5,1	5,3	2,9
Прочие	31,4	35,2	38,3	38,3	40,2	32,8	18,1
(Неясная классификация)					(48,7)	(78,0)	(40,0)
Итого изделий	512,5	544,9	478,4	449,4	438,8	435,6	223,7
<b>Неформованные огнеупоры</b>							
Бетоны	346,2	355,0	357,2	357,5	308,6	308,2	150,4
Пластичные массы	30,7	31,2	28,7	29,7	29,2	30,5	14,0
Торкрет-массы	186,1	189,0	176,2	185,0	182,6	174,2	90,0
Набивные массы	40,1	39,6	39,4	40,0	33,5	27,0	13,9
Покрываютя	129,0	129,0	115,7	112,4	123,1	133,4	70,9
Мертели	38,2	38,4	36,0	33,4	32,1	14,8	15,2
(Неясная классификация)					(25,5)	(40,2)	(21,0)
Итого неформованных огнеупоров	770,3	782,2	753,2	758,0	734,6	743,8	375,5
Всего огнеупоров	1282,9	1327,0	1231,5	1207,4	1173,5	1179,4	599,1

<sup>1)</sup> Финансовый год (с 1.04 по 31.03)

Таблица 2. ПРОИЗВОДСТВО, ПОСТАВКА И ПОТРЕБЛЕНИЕ ОГНЕУПОРОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЯПОНИИ, ТЫС. Т

Финансовый год (с 01.04 по 31.03)	Производство стали (А)	Производство огнеупоров <sup>1)</sup>			Общая поставка огнеупоров			Поставка огнеупоров для черной металлургии <sup>2)</sup>			Удельный расход огнеупоров, кг/т стали		
		изделий	Неформованных огнеупоров	всего	изделий	Неформованных огнеупоров	всего	изделий (Б)	неформованных огнеупоров (В)	Всего (Г)	Б/А	В/А	Г/А
1999	97999	513 (40,0)	770 (60,0)	1283	543	788	1331	333 (61,3)	599 (76,0)	932 (70,0)	3,4	6,1	9,5
2000	106905	545	782	1327	567	797	1364	351	611	961	3,3	5,7	9,0

		(41,1)	(58,9)					(61,9)	(76,6)	(70,5)			
2001	102065	478 (38,8)	753 (61,1)	1232	509	768	1277	318 (62,5)	569 (74,1)	887 (69,5)	3,1	5,6	8,7
2002	109789	449 (37,2)	758 (62,8)	1207	487	779	1266	310 (63,7)	572 (73,4)	882 (69,7)	2,8	5,2	8,0
2003	110984	390 (35,5) 439 <sup>3</sup>	709 (64,5) 735 <sup>3</sup>	1099 (100,0) 1174 <sup>3</sup>	428	739	1167	287	574	861	2,6	5,2	7,8
2004	112895	358 (33,7) 435 <sup>3</sup>	704 (66,4) 734 <sup>3</sup>	1061 (100,0) 1179 <sup>3</sup>	400	728	1128	265 (66,3)	566 (77,7)	831 (73,7)	2,3	5,0	7,4
2005 апр- сент	56798	184 (34,1) 224 <sup>3</sup>	355 (65,9) 376 <sup>3</sup>	538 (100,0) 600 <sup>3</sup>	207	368	575	141 (68,2)	289 (78,6)	431 (74,9)	2,5	5,1	7,6

<sup>1</sup> В скобках — % к общему объему производства огнеупоров.  
<sup>2</sup> В скобках — доля черной металлургии в общем объеме поставок огнеупоров, %.  
<sup>3</sup> Включая продукцию неясной классификации

## 42. ЦЕНЫ НА НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ

Prices // Industrial Minerals. 2006. June, July.

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

Вид огнеупорного сырья	Июнь 2006 г.	Июль 2006 г.
<b>Глинозем и боксит</b>		
Глинозем спеченный, 98,5-99,5 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , насыпью, fob	550-575	550-575
Глинозем спеченный со средним содержанием щелочей, насыпью, fob	600-630	600-630
Глинозем плавленный 94 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , cif		
- бурый, 8-220 меш, европейского/ американского производства	700-900	700-900
- бурый, 8-220 меш, китайского производства	400-500	400-500
- белый, мешками по 25 кг, европейского производства, евро/т	800-1100	800-1100
Боксит китайский огнеупорный, кусковой 0-25 мм, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %/объемная плотность, г/см <sup>3</sup> , fob Xingang		
- Шаньси (Shanxi), кольцевые печи, 87/2,0/3,2	125-135	125-135
- Шаньси (Shanxi), вращающиеся печи, 88/1,8/3,3	150-170	150-170
- Гуйчжоу (Guizhou), fob Zhanjiang/Fangchend: кольцевые печи, 87/2,0/3,2	125-130	125-130
вращающиеся печи, 88/2,0/3,25	135-140	135-140
Боксит из Гайаны, огнеупорная марка, cif Роттердам	205-210	205-210
<b>Хромовая руда</b>		
Трансваальская (ЮАР), огнеупорная марка, 46 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , насыпью, fob	210-230	210-230
<b>Графит кристаллический</b>		
cif европейские порты		
- крупночешуйчатый: 94-97 % C, +80 меш	800-950	800-950
90 % C, +80 меш	570-655	570-655
- среднечешуйчатый: 90 % C, +100-80 меш	440-495	440-495
94-97 % C, +100-80 меш	730-810	730-810
85-87% C, +100-80 меш	420-475	420-475
- мелкочешуйчатый: 90% C, -100 меш	410-475	410-475
94-97% C, +100 меш	600-750	600-750
<b>Огнеупорные глины</b>		

<b>Вид огнеупорного сырья</b>	<b>Июль 2006 г.</b>	<b>Июль 2006 г.</b>
Европейский шамот, 47 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , fob	130-150	130-150
Китайский флинтклей (камнеподобная глина), 45 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , fob Китай	80-88	80-88
Шамот из США, 47 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , fob	92,75	92,75
<b>Пирофиллит</b>		
Пирофиллит	59-65	59-65
<b>Бадделит</b>		
Огнеупорного/абразивного сорта, контрактная цена, cif европейские порты	2200-2600	2200-2600
<b>Магнезиальное сырье</b>		
Греческий сырой магнезит, < 3,5 % SiO <sub>2</sub> , fob порты Восточного Средиземноморья, евро/т	50-55	50-55
Европейский каустический обожженный промышленного назначения, cif, ф. ст/т	140-270	140-270
Намертво обожженный периклаз китайского производства, кусковой, 90% MgO	132-135	132-135
То же, 92 % MgO	137-140	137-140
То же, 94-95 % MgO	172-175	172-175
Кальцинированный магнезит, 90-92 % MgO	130-135	130-135
<b>Оливин</b>		
Сухой наполнитель насыпью, с предприятий Великобритании	50-78	50-78
<b>Карбид кремния</b>		
8-220 меш, cif Великобритания		
- черный, около 99 % SiC, сорт I, ф. ст/т	800-850	800-850
- то же, сорт II, ф. ст/т	650-750	650-750
- огнеупорного сорта, min 98 % SiC, евро/т	900-1100	900-1100
- то же, min 95 % SiC, евро/т	780-800	780-800
<b>Минералы sillimanитовой группы</b>		
Андалузит, fob Трансвааль, 57-58 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , насыпью, партиями по 2000 т, евро/т	180-210	180-210
Кианит обожженный, ex-works с предприятий США, 54-60 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , партиями по 18 т	282-343	282-343
<b>Циркон</b>		
Огнеупорная марка, насыпью, fob:		
- Австралия	675-800	675-800
- США	700-775	700-775