

Д. Т. Н. Б. Н. Сатбаев, Д. Т. Н. А. А. Жарменов, Д. Т. Н. А. И. Кокетаев, Н. Т. Шалабаев

Астанинский филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», г. Астана, Республика Казахстан

УДК 666.762.3.044.28:669.333.3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЫХ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ

Приведены результаты исследования зернового состава огнеупорных масс для получения плотных шпинельнопериклазовых огнеупоров. Результаты исследований проверены при испытаниях огнеупорного бетона и обмазки, изготовленных в г. Усть-Каменогорске по технологии РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан». Указаны преимущества применения огнеупорного бетона и обмазки в футеровке дозирующих ковшей по сравнению с кирпичной футеровкой и хромомагнезитовой и цементной обмазкой.

Ключевые слова: футеровка конвертера, износ футеровки, шпинельнопериклазовый огнеупор, зерновой состав огнеупорных масс, огнеупорный бетон, обмазка, футеровка дозирующих ковшей, АО «Жезказганский медеплавильный комбинат».

Анализ показывает [1–4], что традиционные алюмосиликатные, высокоглиноземистые и периклазохромитовые мертели не обеспечивают герметичности кладки, и, вызывая ее преждевременное разрушение, отрицательно влияют на качество металла. В связи с этим актуальными проблемами являются разработка и организация производства неформованных огнеупорных материалов для максимальной стойкости футеровки тепловых агрегатов черной и цветной металлургии.

Основные факторы износа хромомагнезитового (ХМ), периклазохромитового (ПХСП) и хромитопериклазового термостойкого (ХПТ) огнеупоров, применяемых в футеровке конвертера, можно сгруппировать следующим образом.

1. Химическое воздействие жидких расплавов.
2. Физическое воздействие расплава.
3. Атмосферное влияние, химическое воздействие газовой фазы.
4. Тепловое и механическое воздействие.

В реакционной зоне в результате химического взаимодействия огнеупора с продуктами конвертирования вместо высокоогнеупорных минералов в значительном количестве образуются соединения с более низкой огнеупорностью. По мере обогащения огнеупора оксидами железа и кремнеземом происходит переход высокотемпературной фазы (форстерита) в более легкоплавкие магнезиальножелезистые и оливинные; из периклаза образуются железосодержащие шпинелиды и силикаты, шпинели алюмомагнезиального состава. Химическое воздействие железисто-силикатных и медьсодержащих расплавов, сопровождаемое образованием более легкоплавких соединений, значительно способствует эрозионному износу огне-

упоров. Кроме химического взаимодействия с металлами возможно также взаимодействие огнеупора с оксидами металлов, выражающееся во взаимном растворении. Если в системе имеются эвтектики, плавящиеся ниже рабочей температуры расплава, то при плавке на воздухе обязательно будет происходить активное разъедание футеровки с образованием шлака.

Сильнейшее воздействие на срок службы огнеупоров оказывают различные по своему составу шлаки. Значительный износ возникает при проникновении шлаков, имеющих низкую вязкость и кислотный состав. В конвертере тепловые удары являются одним из сильнейших факторов износа, вызываемых загрузкой холодных присадок. Измерения, проведенные с помощью термоэлементов в зоне фурм конвертера, показали, что в этой зоне наблюдаются температурные градиенты, превышающие 200 °С/мин.

Для изучения взаимодействия огнеупоров с полиметаллическими штейнами и компонентами холодных присадок, определения основных факторов износа проводили петрографические и химические исследования образцов огнеупоров марок ХМ, ХПТ и ПХСП. Образцы отбирали из фурменной зоны конвертера, в которой максимально выражено воздействие шлако-штейнового расплава, и из торца конвертера. При переработке обычных штейнов в огнеупоре после эксплуатации условно отмечают три зоны, различающиеся по составу и структуре и не имеющие четких границ: рабочая, переходная и наименее измененная. Мощность рабочей зоны в огнеупоре ХМ 2–5 мм; в огнеупорах ХПТ и ПХСП рабочая зона практически отсутствует из-за износа сколами,

мощность переходной зоны около 40 мм. Рабочая зона огнеупора ХМ характеризуется повышенным количеством силикатов и замещением вторичным шпинелидом зерен периклаза. Зерна хромшпинелида имеют реакционную каемку; наблюдается частичное растворение зерен периклаза в силикатных фазах шлакового расплава, который проникает по трещинам и порам. По всему сечению переходной зоны огнеупора ХМ видны включения металлов, куприта. Крупные зерна хромшпинелида покрыты трещинами, которые заполнены купритом и силикатами. Оксиды меди и металлов не вызывают заметной коррозии зерен периклаза. Значительно большую корродирующую роль играют силикаты. Химический износ огнеупора ХМ обусловлен растворением периклаза в силикатах и разрушением зерен хромшпинелида.

Огнеупоры ПХСП после службы характеризовались обилием трещин (до 2 мм) и микротрещин. В переходной зоне даже на глубине 35–40 мм наблюдались участки силикатов. В связи с проникновением в эту зону шлакового расплава происходят начальное разрушение структуры, которое выражается в заметном распаде агрегатных зерен периклаза на отдельные слагающие их зерна, и разрушение наиболее крупных зерен хромшпинелида на мелкие корродированные обломки, сцементированные силикатами. Зерна периклаза, особенно в связке, также содержат значительное количество шпинелидов. Чистыми остаются только зерна в центре огнеупора. Включения металла и куприта видны по всему сечению материала, участки включений в количестве до 10–15 % (в среднем 2–3 %) частично заполняют поры и микротрещины.

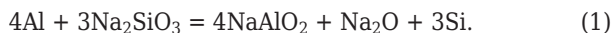
При высоком содержании примесей (Pb до 25 %, Zn 12–14 % и др.) проводится дополнительное переокисление (передув) меди в первом периоде конвертирования с получением химически активного шлака на основе оксида меди. Этот шлак обладает низкой температурой плавления (930 °C), высокой текучестью, прекрасно смачивает и пропитывает огнеупоры по порам и трещинам. Медь и ее соединения (Cu_2O , Cu_2S , Cu_3Sb) не вызывают существенного химического перерождения хромшпинелида и периклаза, а изменяют в первую очередь текстуру огнеупора, вызывают знакопеременные усилия, способствуя износу огнеупоров смачиванием. Высокое содержание свинца (до 21 %) в переходной зоне огнеупоров объясняется присутствием его в низкоплавких стеклах, мигрирующих под воздействием градиента температуры в глубь огнеупора. При этом более благоприятным к миграции низкоплавких стекол оказывается огнеупор ХМ, содержащий повышенное количество SiO_2 .

Основным критерием устойчивости огнеупора является отношение содержания основных огнеупорных компонентов (MgO , CrO_3) в наименее измененной зоне до и после службы. По этому показателю в ряду огнеупоров ХМ – ПХСП – ХПТ наиболее устойчивыми являются последние. Результаты петрографических исследований также подтверждают более высокую эксплуатационную стойкость огнеупоров ХПТ, на которую указывает меньшее количество микротрещин.

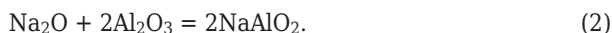
Наиболее приемлемой температурой расплава конвертера, обеспечивающей меньший износ футеровки и достаточную продувку конвертера воздухом с высоким содержанием, является интервал 1200–1250 °C. Горячий ход плавки объясняется наличием большого количества цинка в штейне и образованием в связи с этим железистой шпинели $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Этим же объясняется трудность получения и поддержания магнетитового гарнисажа на футеровке, так как оксид цинка растворяет оксид железа из гарнисажа. Для уменьшения разъедающего свойства цинковых шлаков рекомендуется в материал футеровки конвертера вводить хромомагнетитовую крошку или материалы с высоким содержанием глинозема. Оксид цинка при этом образует с глиноземом тугоплавкое устойчивое соединение, более прочное, чем с оксидом железа. Такой шлаковый гарнисаж надежно защищает футеровку конвертера от корродирующего воздействия штейна с высоким содержанием цинка.

Важным фактором, обеспечивающим равномерный износ огнеупорной футеровки конвертеров, является технология ее выполнения, предусматривающая усиление фурменной и надфурменной зон, применение высокостойких огнеупоров ХПТ и ПХСП, а также набивных смесей и кладочных растворов, при условии предварительного разогрева футеровки после ремонта. Наибольший эффект при проведении кладки конвертера, вращающихся вельц-печей и раздаточных ковшей наблюдается при применении самоспекающихся огнеупорных бетонов и торкрет-масс, обеспечивающих лучшее сцепление кладки и ее монолитность, уменьшающих проникновение расплава в швы футеровки. Это достигается тем, что самоспекающийся огнеупорный шамотный бетон содержит алюминий АПВ-1, шамот, жидкое стекло, сульфат магния и шамотный мертель МШ-45. Предлагаемое содержание компонентов в самоспекающемся огнеупорном шамотном бетоне позволяет улучшить его огнеупорные свойства при самоспекании за счет экзотермических реакций, протекающих между сульфатом магния, жидким стеклом, кремнеземом шамотного мертеля и восстановителем — алюминием, с получением необ-

ходимого количества в огнеупорном бетоне тугоплавкого оксида алюминия:



Образовавшийся по реакции (1) Na_2O вступает во взаимодействие с оксидом алюминия из шамотного мертеля и выделяющимся по обратимой реакции



Как следует из реакций (1) и (2), составляющие компоненты предлагаемого состава выполняют активную роль в процессе спекания экзотермической смеси. Продукты реакции обогащаются высокоогнеупорными низкопористыми и высокоплотными соединениями и оксидами типа NaAlO_2 , а также избыточным количеством оксида алюминия, повышая тем самым температурную прочность футеровки без раковин и пустот и обеспечивая высокую степень спекания огнеупорного состава футеровки при высоких температурах службы.

В процессе обжига и спекания масс протекают физико-химические процессы, связанные с разрушением минералов исходной породы, с реакциями между компонентами смеси, с образованием стабильных огнеупорных фаз. Порядок процессов зависит во многом от минерального состава, химической природы минералов, соотношения фаз и других факторов; знание этих процессов и умение управлять ими позволяют получать огнеупоры с заданными свойствами. При обжиге сырья в интервале низких температур (200–400 °C) происходит удаление адсорбционной влаги. Дальнейшее повышение температуры до 600–900 °C ведет к выделению конституционной воды и разрушению кристаллической решетки исходных минералов. На этой же стадии происходит взаимодействие между компонентами смеси. Экзотермические реакции между окислителем и восстановителем приводят к спеканию (срастанию зерен) уже при 850–900 °C, в то время как при обычной технологии процесс спекания достигается лишь при 1600–1900 °C, когда появляется жидкая фаза за счет расплавления всех компонентов, в том числе тугоплавких.

Известно, что зерновой состав огнеупорных масс влияет на свойства изделий, а также на их поведение при сушке и обжиге. Грубозернистые материалы применяют в производстве многих видов огнеупоров. Они образуют каркас огнеупора, который при обжиге не подвергается значительным уплотнениям, не испытывает больших объемных изменений; такие изделия сохраняют с небольшими отклонениями свою первоначальную форму. Особенно эти явления ярко выражены при

применении плавленных порошков. Для получения высокоплотных изделий применяют тонкозернистые материалы для заполнения пустот каркаса, образованного крупными гранулами заполнителя. При спекании тонкомолотой составляющей происходят уплотнение и упрочнение изделий. Количество этой фракции существенно влияет на плотность огнеупора. Если количество тонкозернистой составляющей меньше оптимального, то пустоты каркаса крупной фракции остаются незаполненными, а если больше оптимального, то каркас крупной фракции раздвигается. В этих случаях максимальное уплотнение не достигается из-за сильного объемного изменения (усадки) тонкой фракции во время обжига изделий.

Для получения плотных изделий керамическим способом из плавленных материалов было исследовано влияние количества тонкомолотой составляющей фракции 0,063–0,088 мм на плотность упаковки текстурных элементов огнеупора [5]. Исходными материалами для лабораторных изделий были плавленный периклазошпинелидный материал, полученный из шихты, содержащей 85 % магнезита и 15 % обогащенного хромита, и шпинельнопериклазовый плавленный материал, полученный из шихты, состоящей из 60 % хромитовой руды и 40 % магнезита. Плавленный периклазошпинелидный материал дробили на фракции 3–5, 1–3 и 0,5–1 мм, шпинельнопериклазовый — на фракцию 2 мм с последующим измельчением до фракции мельче 0,063 мм. При подготовке шихт из плавленных порошков в первую очередь перемешивали крупные фракции, которые увлажняли раствором сульфитно-спиртовой барды плотностью 1,23 г/см³. После этого в смесь вводили тонкомолотую составляющую — фракцию мельче 0,063 мм и тщательно перемешивали. Влажность шихты 1,8 %. Из шихты под давлением 200 МПа прессовали образцы в виде цилиндров диаметром и высотой 35 мм. Часть образцов высушивали и прокаливали при 400 °C до полного выгорания временного связующего, другую часть образцов обжигали при 1780 °C с выдержкой 4 ч.

Снижение открытой пористости наблюдается у образцов из шихты с содержанием 20 % фракции мельче 0,063 мм. С увеличением или уменьшением количества тонкомолотой составляющей открытая пористость образцов увеличивается. Причем наименьшей пористостью обладают образцы как после сушки, так и после обжига из шихты фракции 0,5–5,0 мм с 20 % тонкомолотой составляющей. Образцы после обжига имели высокие физико-керамические показатели. Температура начала деформации под нагрузкой образ-

цов выше 1750 °С, предел прочности при сжатии 40–60 МПа.

Текстура образцов с 40 % тонкомолотой составляющей характеризуется присутствием агрегатов из зерен периклаза размерами 0,5–5,0 мм и связки. В них хорошо развита сеть канальных пор, размер которых колеблется в пределах 20–120 мкм при среднем значении 62,3 мкм. Канальные поры находятся между крупнозернистой и тонкомолотой составляющей. Такие поры образуются в результате спекания, агрегатирования и отрыва тонкомолотой составляющей от агрегатов из зерен периклаза. Это подтверждается также высокой открытой пористостью изделий, достигающей 18 %.

Агрегаты состоят из зерен периклаза размерами 100–800 мкм. Границы агрегатов пронизаны вкраплениями шпинели. Связь между зернами периклаза в агрегатах в основном прямая, реже силикатная. Показатель преломления периклаза колеблется в пределах 1,735–1,737. Связка, цементирующая агрегаты из зерен периклаза, состоит из зерен периклаза размерами 20–80 мкм, шпинели в виде густой вкрапленности в периклазе, шпинельных пленок и силикатов, представленных в основном монтichelлитом и форстеритом с нормальными оптическими константами и незначительным количеством стекла с $N = 1,513 \div 1,519$. Характерной особенностью образцов с 40 % тонкомолотой составляющей является присутствие значительного количества шпинели в связке — 32,7 %, что обусловило образование связей периклаз — шпинель — периклаз (30,2 %), периклаз — периклаз (15,7 %). На связь периклаз — силикат — периклаз приходится 20 %, на связь периклаз — пор — периклаз 34,1 %.

Изделия с 20 % тонкомолотой составляющей имеют слабо развитую канальную пористость. Связка распределена равномерно между агрегатами из зерен периклаза в огнеупоре. В них средняя ширина канальных пор составила 32,4 мкм, что обусловило их низкую открытую пористость, равную 12,1 %. Микроскопическое изучение огнеупоров с 20 % тонкомолотой составляющей показало, что в них агрегаты из зерен периклаза аналогичны вышеописанным, однако они в меньшей мере пронизаны вкраплениями шпинели. Связка также состоит из округлых зерен периклаза, шпинели и силикатов. Подсчет степени развития межзеренных связей показал, что на связь периклаз — периклаз приходится 24,2 %, а на связь периклаз — шпинель — периклаз 21,7 %.

Таким образом, исследование влияния зернового состава огнеупорных масс на свойства огнеупоров показало, что для получения плотных шпинельнопериклазовых огнеупоров рациональ-

но применять плавленные периклазошпинелидные порошки фракции 5–0,5 мм, плавленную шпинельнопериклазовую составляющую фракций 5–3 мм (32 %), 3–1 мм (32 %), 1–0,5 мм (16 %) и 20 % тонкомолотой составляющей.

Для проверки описанных выше выводов в период с 30.08.2012 г. по 05.10.2012 г. в плавильном цехе АО «Жезказганский медеплавильный завод» были проведены испытания дозирующих ковшей с применением огнеупорного бетона и обмазки, изготовленных в г. Усть-Каменогорске по технологии РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан». Общее количество огнеупорных материалов 10 т. Приготовление рабочего раствора бетона и обмазки, заливку дна рабочего ковша бетоном, нанесение обмазки на бетон и сушку проводили согласно инструкции. Для разливки были подготовлены четыре ковша — № 28, 29, 20 и 30. На внутреннюю поверхность ковшей № 28 и 29 была наварена арматура для усиления прочности бетонной основы. Общее время на подготовку ковша к разливке составляет 43–45 ч. После сушки на поверхности бетона появились отдельные микротрещины, которые в дальнейшем постоянно замазывали обмазкой. При разливке образования шлака на поверхности ковша не наблюдалось. Замена ковшей во время разливки не производилась. Отрыв оставшейся после разливки меди производился ломом без затруднений, настель легко удалялась вместе со слоем обмазки; бетонная основа оставалась без разрушения. Разрушения бетонной основы размерами 100×90 мм и глубиной 15 мм появились после 2–3 разливок в приемной либо сливной части ковша, размерами 150×200×20 мм — после 6–8 разливок, размерами 200×300×30 мм — после 10–12 разливок.

После каждой разливки при необходимости производили реставрацию бетонной основы в зонах разрушения, а затем наносили новый слой обмазки. Реставрированные участки бетонной основы на некоторых ковшах сохранялись в течение 1–3 разливок. Повторную сушку ковшей после нанесения обмазки проводили согласно регламенту в сушильных камерах в течение 5–6 ч. Полученные результаты приведены в таблице.

В настоящее время ковши № 28 и 29 отработали по 15 разливок, ковши № 20 и 30 — по 13 разливок. Бетонная основа в удовлетворительном состоянии, ковши к дальнейшей эксплуатации пригодны. Рекомендуется разогрев дозирующих ковшей перед разливкой производить не более 10 мин: пламя горелки направлять на сливную плиту ковша, а не в приемную часть во избежание преждевременного разрушения и сгорания обмазки. Обмазку наносили также на 4 дозирующих

Результаты проведения испытаний в АО «Жезказганский медеплавильный завод»

Номер разливки	Состояние ковша после разливки
<i>Ковш № 28</i>	
1, 2	В приемной части ковша нитевидные трещины
3	Трещины поперек и вдоль приемной части, мелкие трещины по бокам и торцу, в центральной части выработки 70×80×10 мм и 100×60×15 мм, ковш реставрировали
4	Состояние ковша удовлетворительное, после реставрации приемная часть без разрушений, имеет мелкие трещины
6	В приемной части трещины, выработка 40×40×15 мм, реставрация
8	Выработка за приемной части 150×50×10 мм, ковш реставрировали
9, 10	После реставрации разрушений нет
11	Разрушение в носовой части ковша, состояние удовлетворительное
12	Ковш не проходил сушку в камере. Разрушение сливной части до основания ковша 150×250×30 мм, реставрация
13	Разрушение в сливной части 250×200 мм и глубиной 30 мм, реставрация
14	Ковш после реставрации, разрушений нет, состояние удовлетворительное
<i>Ковш № 29</i>	
1	Тонкие трещины по полотну и бокам
2	Мелкие трещины по всему полотну, выработка в приемной части 200×300×25 мм
3, 4	Приемная часть без разрушения, на сливной части мелкие трещины.
6	Разрушение в сливной части размерами 150×100 мм и глубиной 15 мм, реставрация
8	После реставрации разрушений нет
9, 10	Трещины по полотну и бокам, состояние удовлетворительное
11	Реставрированный слой частично разрушен, состояние удовлетворительное
12	Ковш не проходил сушку в камере. Сливная часть имеет выработку до основания 200×200×30 мм, приемная часть имеет выработку 100×150 мм, Состояние неудовлетворительное, ковш реставрирован
13, 14	Разрушений нет, состояние удовлетворительное
<i>Ковш № 20</i>	
1	В середине приемной части имеет выработку 150×200×15 мм, по одной трещине на боковых и торцевой частях
2	Трещины в сливной части, в приемной части реставрированная часть разрушилась
3	Выработка в приемной части 100×90×15 мм, реставрация
4	Выработка в приемной части (100×100×15 мм)
6	В сливной части разрушение до дна ковша (200×300×20 мм), по бокам мелкие трещины
7	После реставрации разрушений нет, состояние ковша удовлетворительное
8	Между сливной и приемной частями разрушение 400×200 мм и глубиной до дна ковша
9	Оголение дна со сливной частью 150×150 мм и глубиной 20–30 мм, стенки удовлетворительные, реставрация
10	Состояние ковша удовлетворительное. Правая стена имеет скол 150×80 мм после механических ударов при выбивке металла. В целом состояние отличное, ковш реставрирован
11, 12, 13	Без разрушений, состояние удовлетворительное
<i>Ковш № 30</i>	
1	Имеет поперечную трещину в приемной части ковша (температурный шов)
2, 3, 4	Состояние ковша хорошее, без разрушений
6, 7, 8	Разрушение края боковой части (сбит цепью при удалении металла)
9	Состояние удовлетворительное, без разрушений
10	Ковш не проходил сушку, в камере имеется разрушение, выработка в сливной части ковша 200×100 мм, 150×100 мм, состояние удовлетворительное. Ковш восстановлен
11	Состояние удовлетворительное, небольшое разрушение боковой части на сливе ковша

ковша — № 3, 4, 8, 24, футерованных шамотным кирпичом КРМ-4,5. После разливки настель также легко удалялась, кирпичная кладка сохранялась. Общее время на подготовку к разливке дозирующего ковша, футерованного кирпичом КРМ-4,5 на хромомagneзитовом растворе с обмазкой, составляет 38–40 ч. В настоящее время ковши с экспериментальной обмазкой отслужили по 5 разливок; кирпичная кладка в хорошем состоянии.

Преимущества применения огнеупорного бетона и обмазки по сравнению с кирпичной футеровкой и хромомagneзитовой и цементной обмазкой:

- обмазка позволяет сохранить футеровку на протяжении 15 разливок и более;
- при разливке образования шлака на поверхности ковша не наблюдается;
- удаление оставшейся после разливки меди производится без затруднения, бетонная или кирпичная кладка в целом сохраняется.

Недостатки заключаются в том, что первоначальная подготовка ковшей более трудоемкая, требуется двойная сушка в сушильных печах.

Библиографический список

1. **Путак, Н. В.** Огнеупорные и тугоплавкие конструкционные материалы / Н. В. Путак // Огнеупоры и техническая керамика. — 1999. — № 8. — С. 50, 51.
 2. **Стрелов, К. К.** Технология огнеупоров / К. К. Стрелов, И. Д. Кащеев, П. С. Мамыкин. — М.: Металлургия, 1987. — 367 с.
 3. **Кривандин, В. А.** Металлургическая теплотехника / В. А. Кривандин, И. И. Неведомская. — М.: Металлургия, 1986. — С. 109–114.
 4. **Butcher, Ian.** New technology impacts on raw materials for refractories / Ian Butcher // Metallurgia. — 1998. — Vol. 65, № 10. — P. 319.
 5. **Жарменов, А. А.** Разработка огнеупорных материалов по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / А. А. Жарменов, С. Ш. Кажикенова, Б. Н. Сатбаев, О. А. Нуркенов // Новые огнеупоры. — 2011. — № 8. — С. 40–48.
- Zharmenov, A. A.** Development of refractory materials prepared by SHS technology / A. A. Zharmenov, S. Sh. Kazhikenova, B. N. Satbaev, O. A. Nurkenov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2011. — Vol. 52, № 4. — P. 294. ■

Получено 04.03.13

© Б. Н. Сатбаев, А. А. Жарменов,
А. И. Кокетаев, Н. Т. Шалабаев, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

56th INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON REFRACTORIES 2013



56-й международный коллоквиум по огнеупорам 2013 ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

25–26 сентября 2013 г.

Аахен, Германия

ТЕМЫ:

- | | |
|-------------------------|---|
| ★ Стекло | ★ Формованные и неформованные огнеупоры |
| ★ Цемент, известь, гипс | ★ Управление качеством |
| ★ Керамика | ★ Служба огнеупоров в футеровке |
| ★ Обжиг | ★ Износ и коррозия |
| ★ Химические процессы | ★ Рециклинг |
| ★ Огнеупорное сырье | ★ Охрана окружающей среды |

www.feuerfest-kolloquium.de/kolloquium-2013