

УДК 66.041.49.043.1.017:620.193.4

**ЭФФЕКТИВНАЯ КОРРОЗИОННО-ЭРОЗИОННО-СТОЙКАЯ
ФУТЕРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ**

Проанализированы условия службы футеровки вельц-печей Челябинского электролитного цинкового завода, Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината и выявлены основные причины износа огнеупоров. Преобладающим механизмом износа огнеупоров в вельц-печах является химическое взаимодействие огнеупоров с компонентами шихты и последующий абразивный износ. Установлено, что для условий службы в футеровке вельц-печей наиболее стойкими являются ПХПП- и ХПТ-огнеупоры. Для увеличения стойкости футеровки огнеупоры были пропитаны каменноугольным пеком. Изготовлена их опытная партия, которая была испытана в кладке вельц-печи. Разработаны высокотемпературный клей для футеровки вельц-печей ряда комбинатов цветной металлургии, а также кладочный раствор, позволяющий получить по всей футеровке керамический шов с улучшенными физико-химическими показателями. Исследованы форма, оптимальные размеры, конструкция керамических изделий и схемы кладки на их основе. Схемы кладки испытаны в вельц-печах на ряде предприятий черной и цветной металлургии.

Ключевые слова: скалывание огнеупорных изделий, термические напряжения, хромитопериклазовые термостойкие огнеупоры, огнеупоры на основе периклазохромитовых плавяных зёрен, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), кладочный раствор.

Цели настоящей работы: ликвидация аварийных ситуаций, которые обуславливают образование настывей, возникающих при пропитке огнеупорных изделий реагентами шихты; исследование огнеупоров с минимальной пропиткой реагентами плавки; повышение стойкости футеровки вельц-печей большого диаметра.

Наиболее изнашиваемой футеровкой вращающихся печей является футеровка вельц-печей из-за жестких условий эксплуатации: высокой температуры (1400–1500 °C), агрессивности шихты (большое количество FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, SiO₂, Pb, Zn и др.), низкой вязкости жидкого расплава, присутствия газообразной фазы Pb, Zn; в реакционной зоне при работе печи присутствует жидкая фаза. Поэтому применение футеровки, удовлетворительно работающей во вращающихся цементных печах, как показала практика, в вельц-печах нецелесообразно. В вельц-печах необходимо применять огнеупорные изделия металлургических марок ПХС, ХПТ, ПХП и др.

Футеровка любой вельц-печи является наиболее ответственной частью ее конструкции. От качества футеровки зависят продолжительность

кампании и основные технико-экономические показатели передела. Так, в настоящее время длительность кампании составляет от 1 до 3 мес, вследствие чего требуется проведение частых ремонтов с применением большого количества дорогостоящих огнеупорных материалов и ручного труда каменщиков высшей квалификации.

В Российской Федерации в основном используют печи размерами 3,6×50 м (большие) и 2,5×41 м (малые). Корпус печи, как правило, поддерживается двумя или тремя роликовыми опорами. За рубежом эксплуатируются различные типы вельц-печей. Так, в Болгарии используют двухопорные печи размерами 2,5×41 м, в Польше на металлургическом заводе в Мясечке-Шленском — пятиопорные вельц-печи диаметром 4,2 и длиной 95 м, на заводах в Болеславе — длиной 40 и диаметром 3 м. Фирма KHD Humboldt Wedag построила в Замбии вельц-комплекс по извлечению цинка и свинца из отвальных пород. В комплекс входят две вращающиеся печи длиной 75 и диаметром 4,5 м и одна печь размерами 3,2×40 м. Самые малые печи в Японии: их длина 30–38, диаметр 2,0–2,5 м.

Из практики работы крупногабаритных вельц-печей известно, что длительность кампании зависит от многих факторов. Основные из них: переменная влажность и непостоянство состава исходного материала, агрессивность среды, непостоянство технологического режима, стойкость огнеупоров. Установлено, что стой-



А. В. Гуляева
E-mail: a.gulyaewa2012@yandex.ru

кость футеровки двухпорных печей ниже, чем трехпорных. Это объясняется наличием изгибающих моментов, которые у двухпорных печей в несколько раз меньше, чем на крайних опорах трехпорной печи. Искривление геометрической оси печи вызывает действие циклических нагрузок на футеровку и ее разрушение.

Основными причинами малой стойкости футеровки вельц-печей являются:

- коррозионный износ в результате химического взаимодействия реагентов шихты с огнеупорными материалами в процессе эксплуатации;
- абразивный износ, вызываемый большим количеством перерабатываемой шихты;

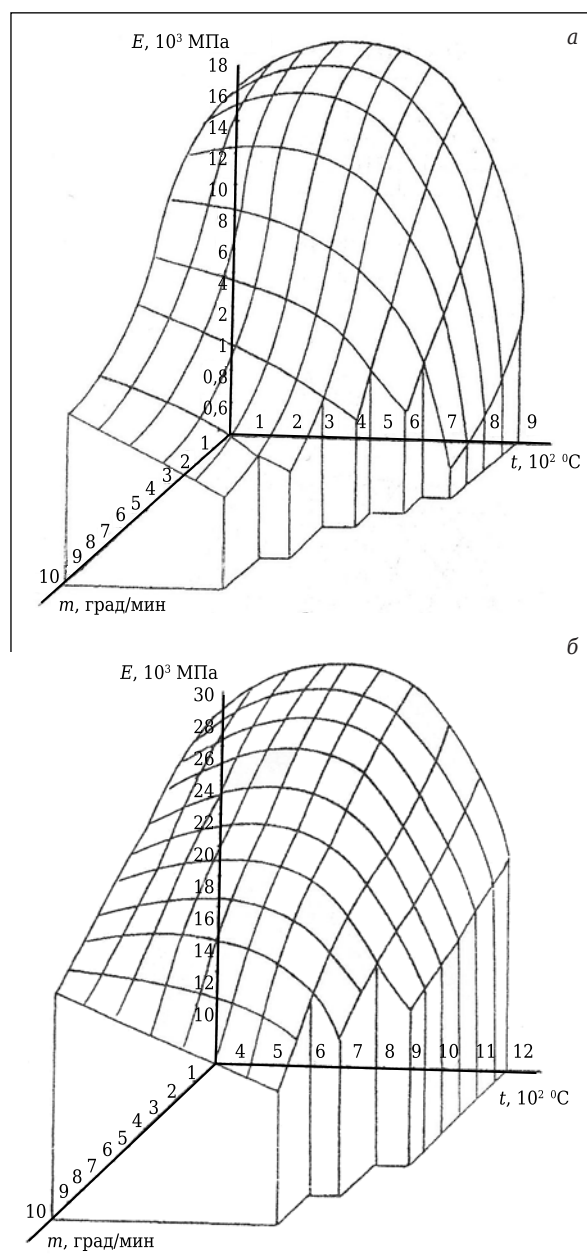


Рис. 1. Изменения модуля упругости E хромомагнезитового (а) и периклазохромитового (б) огнеупора в зависимости от его температуры испытания t и скорости нагрева m

– разрушение рабочего слоя футеровки из-за его небольшой толщины (230 мм) и, как следствие, малый клин изделий (3–4 мм), в результате чего огнеупорное изделие выпадает из кладки всего на 30–40 %;

– истирание теплоизоляционного шамотного слоя футеровки вследствие его проворачивания относительно рабочего слоя и корпуса печи из-за высокой массы кладки, а также сравнительно небольшой механической прочности шамотных изделий;

– сколы огнеупорных изделий из-за разновременных тепловых нагрузок и высокой скорости разогрева и охлаждения кладки, а также возникновения зональности огнеупорных изделий вследствие пропитки их реагентами расплава шихты на глубину до 150 мм. На границе зон огнеупора образуются трещины, располагающиеся параллельно рабочей поверхности кладки из-за неодинакового ТКЛР в разных зонах огнеупора;

– образование в реакционной зоне настелей массой до 1500 кг вследствие пропитки футеровки легкоплавкими составляющими шихты с последующим отрывом настелей от кладки, что приводит к разрушению выходной части печи, а иногда к обрыву загрузочных пересыпных устройств;

– использование кислорода в горелочных устройствах.

Для увеличения стойкости футеровки необходимо было изучить поведение разных высокопрочных огнеупорных изделий применительно к условиям службы во вращающихся печах, разработать составы и технологии изготовления специальных огнеупоров для вельц-печей, а также подобрать разные сочетания огнеупоров для футеровки и создать конструкцию кладки для вельц-печей. Были изучены свойства ряда огнеупоров, которые являются основополагающими при эксплуатации футеровки вращающихся печей.

На термомеханические свойства огнеупорных материалов в диапазоне 20–1300 °С существенно влияют состав огнеупора, его структура и скорость нагрева (рис. 1). Модуль упругости огнеупоров на основе плавленного зернистого материала резко повышен (в 1,5–2,0 раза) по сравнению с этим показателем спеченных огнеупоров аналогичного состава. Это указывает на возможность низкой термостойкости в процессе службы огнеупоров на основе плавленного материала (типа ПХП модификаций ПХПП, ПХПУ).

Установлена зависимость деформации огнеупоров магнезиального состава от напряжения до и после службы печи (рис. 2). Анализ показывает, что участки огнеупоров, пропитанные реагентами плавки, при температурах ниже 800 °С превращаются в жесткий монолит с улучшенными упруго-механическими свойствами. Было выявлено также, что при одностороннем воздействии температуры на огнеупорные изделия образующийся градиент температур вызывает темпера-

турные напряжения в изделии. Зона наибольшей микротрещиноватости изделия расположена от рабочей поверхности на расстоянии $1/3$ – $1/5$ его длины. Чем выше скорость нагрева изделия, тем больше изменения его сплошности (рис. 3).

Авторы настоящей статьи исследовали шлакоустойчивость и абразивность разных видов огнеупорных изделий в широком диапазоне температур (табл. 1). Установлено, что наилучшими свойствами по отношению к продуктам переработки в вельц-печах обладают периклазохромитовые изделия на основе плавленного материала с повышенным содержанием Cr_2O_3 (до 25 %). Огнеупоры разработаны при проведении работы на комбинате «Магнезит». Плавку периклазохромита проводили по специальному режиму с использованием специальных добавок (MgCO_3 вместо MgSO_4 , Al_2O_3 и др.) для повышения в зерне содержания Cr_2O_3 до 25 % вместо 16–18 % [1]. Повышенное содержание Cr_2O_3 увеличивает термостойкость изделий ПХПП до 7–8 теплосмен, что очень существенно при эксплуатации в вельц-печах, в которых образуется значительный температурный перепад при каждом повороте печи. Кроме того, снижается пропитка футеровки реагентами плавки от 100–150 мм для изделий ПХС до 5–6 мм для изделий ПХПП, что исключает образование настелей.

На комбинате «Магнезит» была выпущена промышленная партия магнезиальных изделий (600 т), которые использовали для футеровки печей Ванюкова (плавка в жидкой ванне) и вельц-печей Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината. По стойкости изделия можно расположить в следующем порядке: ПХПП–ХПТ–

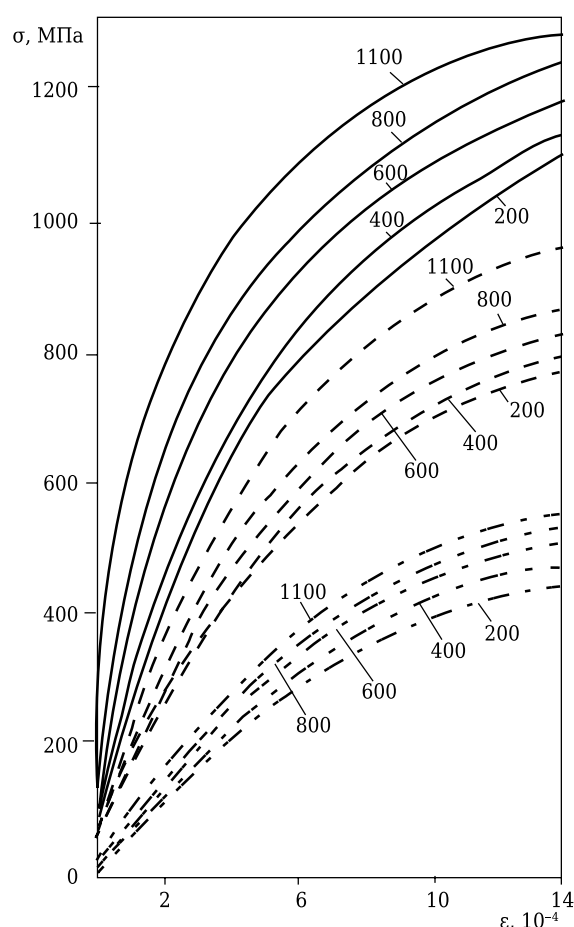


Рис. 2. Зависимость напряжения σ – деформация ε в огнеупоре ПХС до и после службы в вельц-печах при разных температурах (указаны на кривых, °C): - - - - - огнеупор до службы; - - - - - наименее измененная зона — рабочая и переходная зоны



Рис. 3. Изменение сплошности структуры хромомагнезитового огнеупора при разных скоростях его нагрева и толщине защитного слоя при температуре службы 1200 °C

Таблица 1. Свойства огнеупорных изделий

Изделие	Открытая пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Термостойкость от 1300 °C, водяные теплосмены	ТКЛР $\alpha_{\text{ср}}$, $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Модуль упругости E , 10^3 МПа	Износостойчивость, г/см ²	Скорость износа v , 10^{-2} м/ч
ХП	20–23	25–26	3–5	6,9	19,3	0,36–0,68	0,029
МХП	21–22	28–29	3–5	8,9	17,2	0,38–0,51	0,015
ПХС	16–20	30–34	4–6	9,5	12,5	0,40–0,90	0,012
ХПС	18–20	25–30	6–8	9,1	14,6	0,20–0,29	0,011
ПХСС	14–15	39–42	3–4	10,0	11,4	0,18–0,20	0,010
МПМ	14–17	50–60	1–3	12,1	46,2	0,44–0,48	0,031

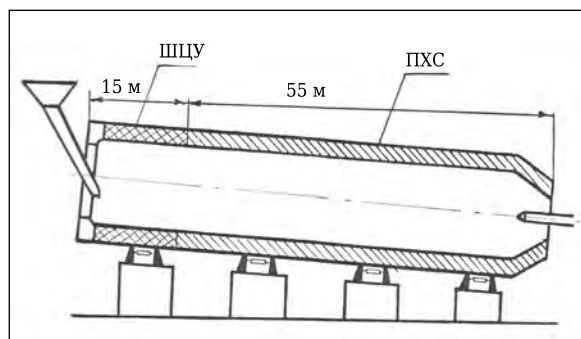


Рис. 4. Однослойная футеровка вельц-печи большого диаметра: ШЦУ — шамотное изделие для цементной промышленности уплотненное; ПХС — периклазохромитовое сводовое изделие

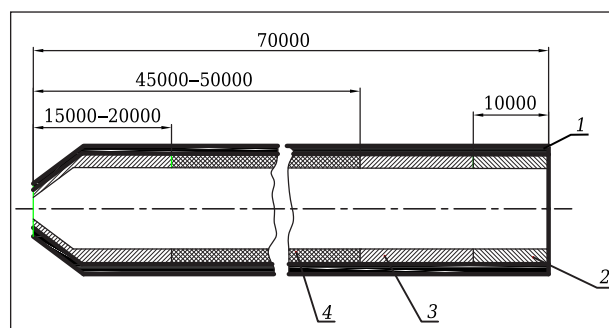


Рис. 5. Футеровка вельц-печи на основе плавленных и спеченных огнеупоров: 1 — кожух; 2 — изделия ШЦУ-19; 3 — изделия ПХС; 4 — изделия ПХПП

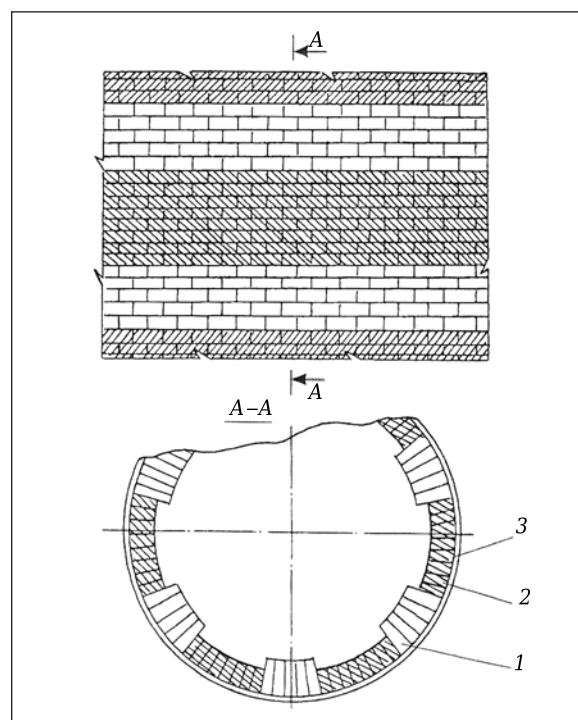


Рис. 6. Футеровка вращающейся печи (шлицевая): 1 — участок из периклазохромитовых на основе плавленного зерна огнеупоров ПХП (периклазохромитовые плавленные) толщиной 300 мм; 2 — участок из хромитопериклазовых термостойких огнеупоров ХПТ толщиной 230 мм; 3 — кожух печи

ПХС-МХС-ХП-МПМ. Наибольшей устойчивостью к продуктам переработки в вельц-печах обладают периклазохромитовые изделия на основе плавленного материала (ПХПП, ПХПУ).

Проведенные исследования позволили разработать ряд усовершенствованных схем футеровки вращающихся печей с использованием высокоэффективных огнеупорных материалов; применение однослойной футеровки взамен двухслойной обеспечивает их повышенную строительную и эксплуатационную стойкость. Так, для увеличения стойкости футеровки была разработана схема однослойной кладки из периклазохромитовых спеченных огнеупоров ПХС взамен традиционной двухслойной из магнезиохромитовых МХЦ и шамотных ШЦУ (рис. 4) [2]. Основные преимущества предлагаемой кладки: отсутствие механически слабого теплоизоляционного шамотного слоя, повышенная строительная прочность футеровки, снижение массы кладки (на 15–20 %), сокращение времени на проведение кладочных работ (на 10–15 %). Замена огнеупоров МХЦ на более высокостойкие ПХС увеличивает химическую стойкость кладки. В результате проведенных мероприятий стойкость футеровки вращающихся вельц-печей Лениногорского полиметаллического комбината повысилась на 30–40 % [2].

К недостаткам разработанной футеровки можно отнести повышенную температуру кожуха печей (до 350 °С) и образование настывей из обжигаемого материала. Для устранения недостатков была разработана «шлицевая» однослойная кладка (рис. 5). Сущность этой кладки состоит в том, что различные по толщине участки футеровки вследствие неодинаковой теплопроводности обладают разной способностью наращивать гарнисаж. Резко уменьшаются сколы футеровки за счет шлицев, обеспечивающих разрыв рабочей поверхности футеровки в самых опасных участках (на расстоянии 1/3–1/5 длины огнеупорного изделия), что резко снижает термонапряжения в кладке при эксплуатации печи (см. рис. 5) [3], особенно при применении огнеупоров ПХПП.

Для ликвидации настывей и повышения стойкости футеровки вращающихся вельц-печей была разработана схема кладки, в которой предусматривается использование огнеупоров, разных по химическому и минеральному составу, структуре, упруго-механическим свойствам, таких как спеченные ПХС, ХПТ и плавленозернистые периклазохромитового состава ПХПП с разной способностью наращивать и удерживать настывеобразование (рис. 6). У огнеупоров ПХПП размер плавленных зерен 800–950 мкм, в то время как размер зерен спеченных огнеупоров ПХС и ХП 6–50 мкм. Повышенное количество прямых связей (до 70 %) и пониженное содержание силикатов в тонкомолотой части (7 % SiO_2 , 2 % CaO) в сочетании с низкой пористостью

изделия резко уменьшают смачиваемость огнеупоров ПХПП. Пропитка их реагентами плавки не превышает 6 мм, в то время как спеченные огнеупоры ПХС и ХПТ пропитываются на глубину до 150 мм. В результате при использовании огнеупоров ПХПП уменьшается количество настелей и повышается химическая стойкость футеровки [4]; она увеличивается на 25–30 %.

Разработанные схемы кладки были испытаны и внедрены на Лениногорском полиметаллическом, Усть-Каменогорском свинцово-цинковом и Алмалыкском горно-металлургическом комбинатах и на Челябинском электроцинковом заводе. Стойкость футеровки вельц-печей увеличилась при этом в 1,5–1,8 раза; достигнут значительный экономический эффект. Динамика срока службы футеровки вращающихся печей Лениногорского полиметаллического комбината приведена ниже:

Срок службы футеровки, сут	Тип кладки и применяемые огнеупорные изделия
30–40.....	Двухслойная футеровка с шамотным теплоизоляционным слоем толщиной 120 мм и магнезитохромитовым огнеупором МХЦ в рабочем слое толщиной 230 мм (базовый вариант)
94–97.....	Однослойная футеровка толщиной 300 мм из огнеупоров ПХС
104–110.....	Однослойная футеровка толщиной 230–300 мм из огнеупоров ПХС по схеме «шлицевой» кладки
118–120.....	«Шлицевая» однослойная кладка толщиной 300–380 мм из огнеупоров ХПТ и ПХПП по участкам футеровки

В числе ряда мероприятий для повышения конструкционной прочности футеровки вельц-печей был разработан и испытан огнеупорный клей с высокими показателями эксплуатационных свойств [9]. Применение клея уменьшает температурные напряжения в кладке (рис. 7).

Были исследованы свойства изделий магnezального состава в широком диапазоне. Наиболее стойкими признаны огнеупоры ПХПП и ХПТ. Разработана также комбинированная схема кладки (ленточная) с использованием высокостойких огнеупоров и огнеупорного клея (рис. 8). Такая конструкция кладки позволяет увеличить стойкость футеровки за счет создания каркаса из высокостойких огнеупоров ПХПП.

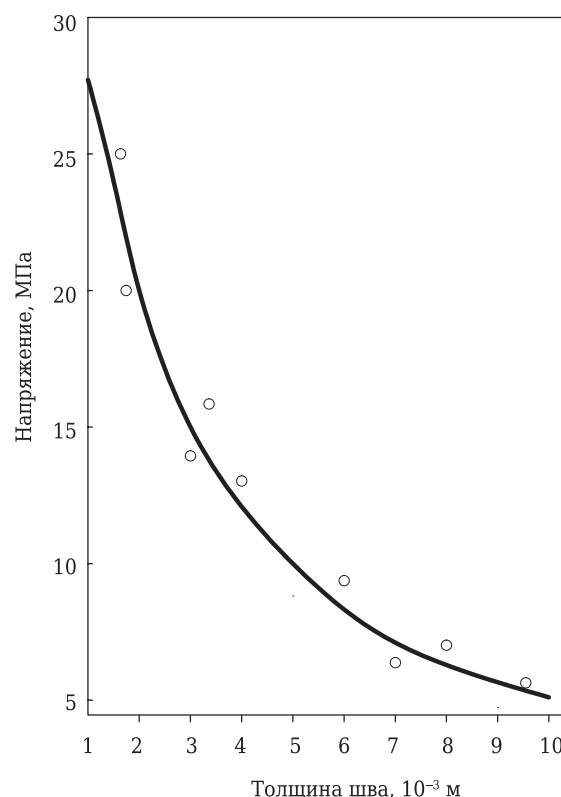


Рис. 7. Зависимость температурных напряжений, возникающих в огнеупорной кладке, от толщины шва

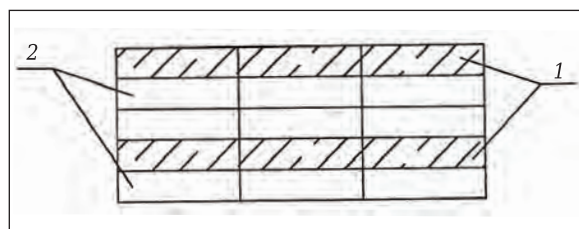


Рис. 8. Схема «ленточной» кладки футеровки вельц-печи: 1 — огнеупоры ХПТ; 2 — огнеупоры ПХПП

В реакционной зоне вельц-печей предложено испытать огнеупоры, пропитанные каменноугольным пеком. Такие огнеупоры обладают улучшенными физико-химическими показателями из-за присутствия углеродной составляющей (табл. 2). Пропитанные пеком огнеупоры имеют высокую стойкость к коррозии шлаками и абразивному износу, повышенную термостойкость,

Таблица 2. Свойства* периклазохромитовых огнеупоров, пропитанных каменноугольным пеком

Номер образца	Кажущаяся плотность, г/см ³	Открытая пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Термостойкость от 1300 °С, водяные теплосмены
1	3,08	2,69	106,8	10
2	3,08	2,75	76,2	9
3	3,09	2,63	68,1	8
4	3,10	2,35	116,8	8
Среднее	3,09	2,65	91,9	9

* Шлакоустойчивость 1,96 %.

обуславливающую прочность огнеупоров при периодическом режиме работы.

Стойкость к коррозии обеспечивается несмачиваемостью углерода шлаками, поэтому добавка углерода уменьшает зону пропитки огнеупоров шлаками и, следовательно, замедляет процесс коррозии. Абразивная стойкость обеспечивается благодаря фрикционным свойствам графита. Для заполнения швов кладки была разработана огнеупорная масса, содержащая хромитовую руду, железную окалину, алюминий, сульфат магния и воду. Масса, разработанная для получения кладочного раствора методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), обеспечивает равномерную прочность по всему объему футеровки за счет повышения стабильности физико-химических процессов и взаимодействия со швами футеровки в процессе ее горения при сохранении температуры нагрева 300–450 °С [8]. Разработанный кладочный раствор был испытан в вельц-печах. Шов получался керамическим от рабочей поверхности до кожуха печи, а в шве, выполненном из традиционных огнеупорных материалов, керамическая часть составляла 20–30 % от длины шва.

Кладочный раствор, полученный по СВС-технологии, обладает высокими термостойкостью, шлакоустойчивостью, абразивостойкостью, хорошими теплоизоляционными свойствами. СВС проводят на этапах разогрева [8]. Линейная скорость синтеза 2–3 мм/с; футеровка начинает проявлять требуемые свойства через 1–5 мин. Синтезированный СВС-материал кладочного шва имеет огнеупорность 1850–2100 °С, предел прочности при сжатии 50–60 МПа. СВС-материалы в качестве кладочного раствора успешно прошли испытания в вельц-печах Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината.

Основная причина малой стойкости футеровки вельц-печей — образование в реакционной зоне настывшей массой до 1500 кг вследствие пропитки футеровки легкоплавкими составляющими шихты с последующим отрывом настывшей от кладки. Это приводит к разрушению выходной части печи, а иногда к обрыву загрузочных пересыпных устройств. Для увеличения стойкости футеровки необходимо было изучить поведение разных высокостойких огнеупорных изделий применительно к условиям службы во вращающихся печах, разработать составы и технологии изготовления специальных огнеупоров для вельц-печей, а также подобрать сочетания огнеупоров для футеровки и создать конструкции кладки для вельц-печей разных размеров.

Перспективными для уменьшения образования настывшей являются огнеупоры ПХПП, обладающие меньшей (в основном закрытой) пористостью и более высокой коррозионной

стойкостью [6, 7], чем традиционные спеченные огнеупоры ПХС. В первую очередь настывлеобразование происходит в наиболее горячей подзоне реакционной зоны печи — от 15 до 50 м ввиду появления жидкой фазы. На этом участке следует устанавливать огнеупоры ПХПП, обладающие меньшей смачиваемостью и повышенной шлакоустойчивостью к реагентам плавки. В результате происходит уменьшение объема настывшей или они вообще не образуются. Такие свойства огнеупоров ПХПП обусловлены присутствием крупнокристаллических плавленных зерен в связке, размеры которых достигают 800–950 мкм, повышенным количеством прямых связей между зернами, число которых достигает 70 %, и пониженным содержанием силикатов в тонкомолотой составляющей (SiO_2 до 15 %, CaO до 2 %). В спеченных огнеупорах ПХС размеры зерна достигают лишь 50–80 мкм, количество силикатов составляет 5–10 % [8, 9].

По границе переходной и наименее измененной зон при службе происходит скалывание из-за разных ТКЛР пропитанного и непропитанного огнеупоров. Скалывание огнеупоров приводит к возникновению настывлеобразования; чем больше толщина пропитанного слоя, тем интенсивнее настывлеобразование и больше масса отслаивающейся «крицы». Так, толщина переходной и рабочей зон спеченных огнеупоров ПХС 50–80 мм, тогда как у огнеупоров ПХПП она колеблется от 2 до 8 мм. Стойкость огнеупоров ПХПП выше, чем огнеупоров ПХС, в 3–3,5 раза. Поэтому рационально выполнять футеровку реакционной зоны комбинированной из огнеупоров ПХПП и ПХС. Испытания показали, что при применении такой схемы футеровки в процессе работы вельц-печей настывшей не образуются, уменьшается абразивный износ футеровки, снижается температура корпуса печей, что уменьшает энергозатраты на вельц-процесс на 10–15 %.

Была разработана также конструкция специального изделия (рис. 9), позволяющая за счет рассчитанной формы снизить термические напряжения в футеровке. Специальный зацеп на изделии резко уменьшает вероятность его выпадения из окатов во время эксплуатации печи, исключает использование металлических пластин при кладке. Поскольку в одном изделии сосуществуют рабочий и теплоизоляционный слои, резко снижаются теплотери через кладку. Теплоизоляционный слой состоит из огнеупорного материала и искусственных пор, которые образуются при прессовании изделий, что уменьшает потери тепла через футеровку. При разработке конструкции изделия учитывали распределение термонапряжений по его сечению при температуре службы, затем рассчитывали оптимальные размеры, количество и размер искусственных пор для уменьшения

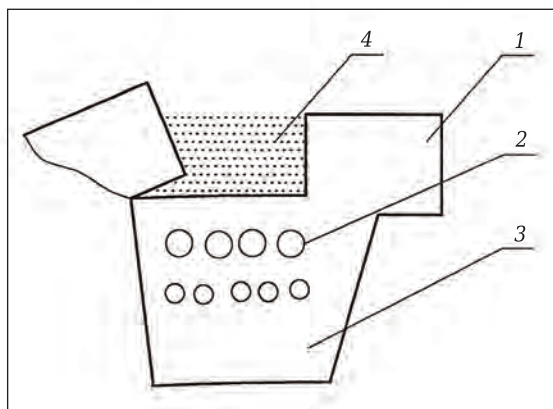


Рис. 9. Специальные огнеупорные изделия: 1 — зацеп; 2 — искусственные поры; 3 — рабочая зона огнеупорного изделия; 4 — теплоизоляционная засыпка из волокнистого материала (каолиновая вата, асбестовое волокно и др.)

теплопроводности изделия без потери необходимой механической прочности. Для получения пор использовали шарообразный пенопласт, который выгорает при службе изделия. Схема кладки показана на рис. 10 [10].

Специальные изделия были испытаны в сводах мартеновских печей Нижнетагильского металлургического комбината и Нижнесергинского метизно-металлургического завода. Применение разработанных изделий позволило увеличить стойкость футеровки на 40–60 %, а также отказаться от расклинивания кладки, уменьшить толщину футеровки вращающихся печей до 30 % от обычно применяемой, снизив тем самым массу кладки и, соответственно, расход дорогостоящих огнеупорных материалов. Применение изделий снижает расход энергоносителей, термические напряжения в кладке и уменьшает тем самым скалывание огнеупоров при службе. Практически исключается выпадение элементов кладки при эксплуатации.

Обожженные изделия целесообразно использовать в реакционной зоне вращающихся печей. Изделия прошли испытания в футеровке вращающихся печей Карагандинского металлургического и Ачинского глиноземного комбинатов. Стойкость футеровки увеличилась на 40–50 %.

Библиографический список

1. **А. с. 1052500 СССР.** Способ получения плавляемых периклазохромитовых материалов / В. В. Словиковский, П. Н. Бабин, Я. Г. Гапонов, Е. П. Мезенцев, К. В. Симонов, В. Н. Коптелов, Б. Г. Скорынин. — № 3467658–33117203 ; заявл. 09.07.82, Бюл. № 2 (1990).
2. **Словиковский, В. В.** Модернизация футеровки вельц-печей Лениногорского полиметаллического комбината / В. В. Словиковский, Н. Ф. Лебедев, В. Б. Бирке [и др.]. — Свердловск : Центр научно-технической информации и пропаганды. Информационный листок № 608-86.

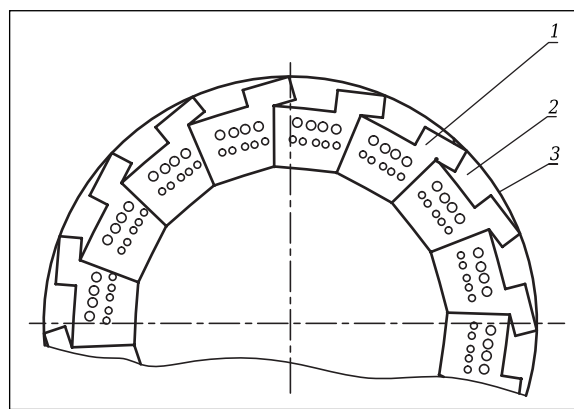


Рис. 10. Схема кладки футеровки вельц-печи из специальных огнеупорных изделий

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы форма, оптимальные размеры, конструкция керамических изделий и схемы кладки на их основе. Кладка испытана в вельц-печах ряда предприятий цветной и черной металлургии. Анализ результатов широкого испытания и внедрения усовершенствованной кладки вращающихся печей позволяет рекомендовать к внедрению:

- в зоне подготовки — шамотный огнеупор по схеме кладки однослойной футеровки с применением высокоэффективного безусадочного раствора на основе корундового заполнителя и алюмохромфосфатной связки;

- в реакционной зоне — однослойную футеровку типа «шлицевая» с использованием огнеупорных изделий толщиной 300–380 мм соответственно с применением кладочного раствора, работающего по принципу СВС;

- в зоне охлаждения — однослойную футеровку из огнеупоров ПХПП на СВС-растворе, что позволяет ликвидировать металлические кольца по длине печи, предназначенные для сопротивления выдавливанию футеровки конуса зоны охлаждения.

Внедрение такой схемы кладки вельц-печи позволяет повысить ее стойкость в 1,5–1,8 раза при минимальных затратах.

3. **А. с. 1635680 СССР.** Футеровка вращающихся печей / В. В. Словиковский, А. Д. Пилипчатин, Н. Ф. Лебедев и др. — № 4162069 ; заявл. 25.09.81, Бюл. № 10 (1990).

4. **А. с. 1623353 СССР.** Футеровка вельц-печи большого диаметра / В. В. Словиковский, Н. Ф. Лебедев, Б. В. Пономарёв, Р. А. Унжаков, А. Н. Кутняков, Е. А. Сытин, В. Ф. Музырчук. — № 4296686 ; заявл. 22.09.87 ; опубл. 20.03.91, Бюл. № 3.

5. **Пат. 20010351 Российская Федерация.** Огнеупорная масса для изготовления огнеупорных изде-

лий / Чистополова Н. Н., Лялин В. К., Гладышева М. С., Игошев А. В., Словиковский В. В. — № 4948394/33 ; заявл. 24.06.91 ; опубл.15.10.93, Бюл. № 37, 38.

6. **Slovikovskii, V. V.** Rotary kiln corrosion-erosion-resistant linings / V. V. Slovikovskii // Refract. Ind. Ceram. — 2008. — Vol. 49, № 2. — P. 99–102.

Словиковский, В. В. Коррозионно-эрозионно-стойкие футеровки вращающихся печей / В. В. Словиковский // Новые огнеупоры. — 2008. — № 4. — С. 13–17.

7. **Slovikovskii, V. V.** Periclase-chromite refractories from fused materials / V. V. Slovikovskii, V. N. Eroshkina, G. V. Kononenko [et al.] // Refract. Ind. Ceram. — 1985. — Vol. 26, № 3/4. — P. 166–169.

Словиковский, В. В. Периклазохромитовые огнеупоры из плавленных материалов / В. В. Словиковский, В. Н. Ерошкина, Г. В. Кононенко [и др.] // Огнеупоры. — 1985. — № 3. — С. 13–17.

8. **Slovikovskii, V. V.** Efficient use of SHS materials on high-temperature equipment in nonferrous metallurgy /

V. V. Slovikovskii, A. V. Gulyaeva // Refract. Ind. Ceram. — 2012. — Vol. 53, № 1. — P. 1–3.

Словиковский, В. В. Эффективное применение СВС-материалов в футеровках тепловых агрегатов цветной металлургии / В. В. Словиковский, А. В. Гуляева // Новые огнеупоры. — 2012. — № 2. — С. 4–6.

9. **Словиковский, В. В.** Высокотемпературный клей в футеровках тепловых агрегатов цветной металлургии / В. В. Словиковский, В. М. Корнеев, Ю. И. Рожин // И. Л. ЦНТИ (г. Свердловск). — 1989. — № 89. — С. 47.

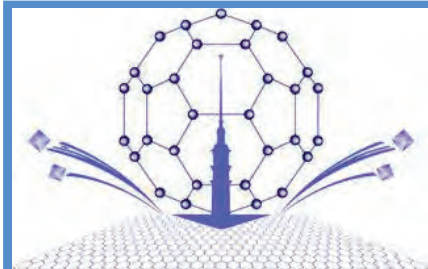
10. **Slovikovskii, V. V.** Brickwork of furnace lining of high-temperature metallurgical plants produced from special refractory materials / V. V. Slovikovskii // Refract. Ind. Ceram. — 2010. — Vol. 51, № 4. — P. 233–235.

Словиковский, В. В. Кладка футеровок высокотемпературных металлургических агрегатов из специальных огнеупорных изделий / В. В. Словиковский // Новые огнеупоры. — 2010. — № 8. — С. 7–9. ■

Получено 20.06.20

© В. В. Словиковский, А. В. Гуляева, 2020 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



15-я международная конференция «Advanced Carbon NanoStructures 2021» (ACNS'2021)

28.06.2021–02.07.2021
Санкт-Петербург, Россия

Организаторы:

Институт Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
Национальный исследовательский центр
"Курчатовский институт", Мсква, Россия
Петербургский институт ядерной физики
им. Б. П. Константинова, Россия
Санкт-Петербургский государственный
технологический институт
(технический университет), Россия

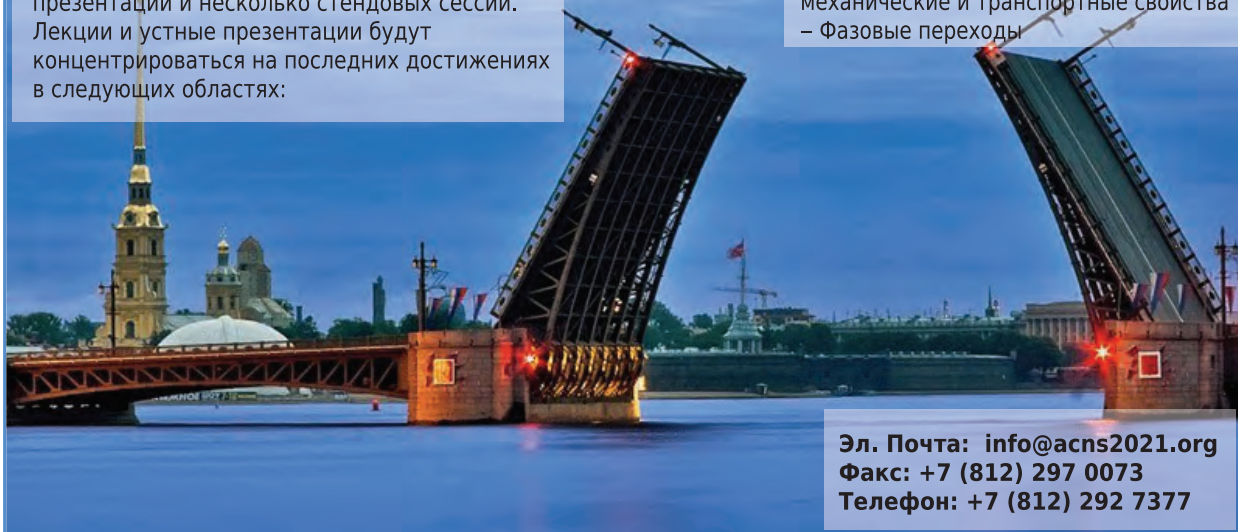
Программа традиционно будет включать лекции приглашенных спикеров, устные презентации и несколько стендовых сессий. Лекции и устные презентации будут концентрироваться на последних достижениях в следующих областях:

Материалы:

- * Фуллерены
- * Углеродные нанотрубки
- * Графен
- * Наноалмазные частицы
- * Линейные атомы углерода
- * Углерод на основе карбида
- * Композиты на основе нанолуглеродов

Явления:

- Синтез
- Электронные, магнитные, оптические, механические и транспортные свойства
- Фазовые переходы



Эл. Почта: info@acns2021.org
Факс: +7 (812) 297 0073
Телефон: +7 (812) 292 7377