

УДК 666.76.001.8

ОГНЕУПОРНАЯ ОТРАСЛЬ В 2020 г., ТЕНДЕНЦИИ ЕЕ РАЗВИТИЯ. Часть 1

Рассмотрено состояние рынка огнеупоров в России и мире к концу 2020 г., развитие старых и усиление новых тенденций в технологии применения огнеупорных материалов в футеровке агрегатов в сталеплавильном производстве. Показано влияние выбора технологии и качества применяемых огнеупоров, практики использования футеровки и ухода за ней на снижение удельного расхода огнеупоров, расширение роли неформованных огнеупорных материалов и снижение удельных затрат и расходов на огнеупоры.

Ключевые слова: футеровка агрегатов, удельный расход, неформованные огнеупорные материалы.

ВВЕДЕНИЕ

До 70 % огнеупорных материалов, как известно, потребляется черной металлургией, где, в свою очередь, их основная доля приходится на сталеплавильное производство. Производство стали в мире существенно сократилось в первом полугодии 2020 г. вследствие пандемии Covid-19 и достигло в 2020 г. 1864 млн т, потеряв 0,9 % в сравнении с 2019 г. (табл. 1).

Пандемия в совокупности с протекционистскими мерами ряда государств в отношении российского металла привела к снижению в 2019 г. экспорта в сравнении с 2018 г. в натуральном выражении в ЕС на 11 %, в США на 40 %. Аналогичные проблемы остались и в 2020 г. Однако, в 2020 г. рост внутреннего потребления металла в России на 3,1 % и экспорта на другие рынки положительно сказался на объемах производства стали. Согласно консенсус-прогнозу, озвученному в презентации ассоциации «Русская сталь», в 2021 г. ожидается рост производства стали на 4–5 %.

Продолжается техническое перевооружение на металлургических предприятиях России: анонсируется расширение производства горячебрикетированного железа, ввод в эксплуатацию новых агрегатов ковш-печь, реконструкция сталеплавильных агрегатов как ДСП, так и конвертеров. Ожидается ввод в 2021 г. новой ДСП в ПАО «Северсталь». Решается вопрос

Таблица 1. Изменение объема выплавки стали в 2020 г. в сравнении с 2019 г. (<https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html>)

Производитель стали	Объем производства в 2020 г., млн т	Прирост (падение производства) в 2020 г. к 2019 г., %
В мире	1864	–0,9
Китай	1053	+5,2
Индия	99,6	–10,6
Япония	83,2	–16,2
Южная Корея	67,1	–6,0
Евросоюз,	138,8	–11,8
в том числе Германия	35,7	–10,0
Россия	73,4*	+2,6
Украина	20,6	–1,1
США	72,7	–17,2
Иран	29	+13,4
Турция	35,8	+6,0

* По данным издания «Металл экспресс», в 2020 г. в России произведено 71,6 млн т стали.

о строительстве еще одного вакууматора в конвертерном цехе ПАО ММК. Ожидается ввод новой ДСП № 5 в ПАО ОЭМК мощностью 1,2 млн т стали с общим приростом выплавки стали по комбинату 400 тыс. т. ООО «Южсталь» на мощностях Сулинского металлургического завода в 2022 г. развернет производство до 720 тыс. т стали в год. В 2025 г. в эксплуатацию будет введен электрометаллургический комплекс в Нижегородской области ООО «Эколант» с объемом производства 1,8 млн т стали повышенного качества. Сталь будет производиться из горячехвосстановленного железа, получаемого из железной руды с использованием природного газа (бездоменный процесс). Реализуемая технология позволяет в три раза снизить выбросы парниковых газов (CO₂) в атмосферу и полностью



Л. М. Аксельрод
E-mail: akselrodlev@vgh-ag.ru

соответствует общемировой тенденции снижения углеродного следа в промышленности.

Лидером в производстве стали и огнеупоров, включая сырье для производства огнеупоров, в мире уверенно остается и, очевидно, навсегда Китай, поэтому и внимание к тенденциям в металлургии в этом государстве особенное. В 2020 г. в КНР произведено 1,053 млрд т стали с приростом в сравнении с 2019 г. 5,2 %, несмотря на существенное отставание в первом полугодии. Динамика производства стали, основного потребителя огнеупоров, и производства огнеупоров в Китае с начала XXI в. показана на рис. 1.

В других отраслях — потребителях огнеупорных материалов в Китае также имел место прирост объемов производства в 2020 г. Производство цемента в Китае составило в январе–феврале 2018 г. 222,563 млн т, в тот же период 2019 г. — 211,806 млн т, в период карантинных мер в те же два месяца 2020 г. — только 149,825 млн т. По результатам за 2020 г. производство цемента достигло 2,3 млрд т, незначительно превысив результат 2019 г. В России производство цемента в 2018, 2019 и в 2020 гг. составило 53,7, 57,7 и 56,0 млн т соответственно.

В первом квартале 2021 г. крупнейшие потребители огнеупоров в Китае значительно нарастили производство продукции (табл. 2). Та-



Рис. 1. Динамика производства стали и огнеупоров в Китае в 2000–2020 гг., млн т (по материалам Refractories Window)

Таблица 2. Производство продукции в отраслях основных потребителей огнеупорных материалов в Китае в январе–марте 2021 г.*

Продукция	Объем производства	Изменение объема производства (январь–март 2021 г. / январь–март 2020 г., %)
Чугун, млн т	221,0	+8
Сталь, млн т	271,0	+15,6
Цемент, млн т	439,1	+47,3
Ферросплавы, тыс. т	7021	+4,7
Алюминий (электролитич.), тыс. т	9758	+8,8
Медь (электролитич.), тыс. т	2487	+15,2
Свинец, тыс. т	1740	+29,1
Цинк, тыс. т	1628	+6,3

* По материалам Refractories Window, 2021, vol. 160.

кой интенсивный рост производства в основных отраслях потребителей огнеупоров не может не сказаться на обеспечении огнеупорами и экспортных поставок. Однако в реальности и сырья хватает, и производственные мощности обеспечивают выполнение заказов. При этом практически в течение года наблюдаются проблемы с транспортировкой огнеупорных материалов за пределы КНР, несмотря на принимаемые меры.

Производство огнеупорных материалов в Китае, включая производство соответствующих сырьевых материалов, с 2012 г. постоянно снижалось по мере интенсивного сокращения удельного расхода огнеупоров в черной металлургии, несмотря на постоянный рост производства в отраслях, потребляющих огнеупорные материалы. За последние пятнадцать лет в Китае осуществлено интенсивное техническое перевооружение огнеупорной отрасли, построены новые предприятия. По мнению ACRI (Китайской ассоциации производителей огнеупоров), не менее пяти китайских фирм входят в десятку крупнейших производителей огнеупоров в мире. Процесс укрупнения производителей огнеупоров в КНР продолжается под управлением государства. Освоены новые технологические процессы, что позволило расширить производство и экспорт качественных сырьевых, формованных и неформованных огнеупорных материалов. В 2020 г. производство огнеупоров в Китае, по данным ACRI, составило 24,8 млн т, при этом в последние годы сохраняется соотношение производства формованных и неформованных огнеупоров с некоторым приростом производства теплоизоляционных материалов.

По данным Roskill Information service Ltd [1], несмотря на прогнозируемый рост объемов производства стали, цемента и т. д., производство огнеупоров в мире будет снижаться на 0,4 % в период с 2018 по 2023 г., а с 2023 по 2024 г. — на 0,1 %. Вопрос цен на огнеупорные материалы мало предсказуем, по мнению специалистов этой организации. По мнению авторов статьи, создание новых технологических процессов у потребителей огнеупоров с более жесткими условиями эксплуатации, требующих более качественных огнеупоров, использования огнеупорных материалов и технологий, препятствующих загрязнению металла, вызовет необходимость разработки новых, совершенствования существующих огнеупоров и, очевидно, рост цен.

Снижение удельного расхода огнеупоров в металлургии. Переход к учету удельных затрат на огнеупоры и к ТСО (совокупная стоимость владения)

Металлургия ЕС, Японии, США, в большей мере и России, уже вышла на удельный расход огнеупоров 8–10 кг/т стали для конвертерного производства и до 7–9 кг/т стали в электроста-

леплавильном производстве. В Китае преобладает конвертерное производство и по-прежнему более высокий удельный расход огнеупоров — 13–15 кг/т стали. В период 2008–2014 гг. в Китае снижение удельного расхода огнеупоров составило 3–4 кг/т стали и достигло 20 кг/т стали. В 2014–2020 гг. в Китае имело место снижение удельного расхода огнеупоров на 5 кг/т стали и достигло 13–15 кг/т стали.

Перед металлургической отраслью Китая поставлена задача достичь удельного расхода 8 кг/т стали для крупномасштабных конвертерных производств и электросталеплавильного производства и 9–10 кг/т стали для остальных конвертерных производств. Залог выполнения поставленной задачи — продолжающееся на протяжении ряда лет интенсивное техническое перевооружение на действующих металлургических предприятиях: ввод в эксплуатацию абсолютно новых производств и демонтаж устаревших, более затратных мощностей, в том числе с высоким удельным расходом огнеупоров. За 2019 г. в эксплуатацию введены новые мощности на 38,2 млн т чугуна и 50,2 млн т стали, в том числе 15 млн т в электросталеплавильном производстве; в 2020 г. предполагалось введение в эксплуатацию новых или обновленных мощностей на 78,2–92,7 млн т стали (по разным источникам). За счет обновления оборудования и технологии на ряде предприятий на тех же номинальных мощностях прирост производства может составить 10–20 %. Естественно, интенсивность замены мощностей будет снижаться [2].

С удвоением объема производства стали с 2007 г. объем потребляемых огнеупоров в сталеплавильном производстве Китая (к 2021 г.) остался практически прежним (см. рис. 1). Именно в этот период на территории КНР созданы совместные предприятия с использованием технологий ведущих мировых фирм: RHI (Австрия), Posco (Южная Корея), Krosaki (Япония), Maiertron (Великобритания), ООО «Группа Магнезит» (в 2003 г.), ОАО «Динур» и АО БКО. Выполнение программы снижения удельного расхода огнеупоров даст, при сегодняшнем производстве стали, снижение потребления огнеупорных материалов в черной металлургии до 5 млн т в ближайшие пять лет. При этом что на сегодня, например, в резерве до 50 % мощностей по плавке периклаза.

Дальнейший рост производства стали маловероятен, эксперты говорят о постепенном снижении выплавки стали под давлением экологических ограничений. При этом увеличится производство огнеупорных материалов с большой прибавленной стоимостью, обеспечивающих производство металла более высокого качества, в том числе безуглеродистых огнеупоров и соответствующих материалов для ухода за футеровкой и увеличения межремонтного цикла эксплуатации агрегатов. Для решения энергетиче-

ских проблем и снижения выброса CO₂ особое внимание уделяется продукции с пониженной теплопроводностью (не только в металлургии), технологиям производства и эффективного использования теплоизоляционных материалов.

В России процесс интенсивного снижения удельного расхода огнеупоров в основном завершен. Это также результат технического перевооружения отрасли, более эффективного использования огнеупоров. В 1990 г. при производстве 153,9 млн т стали в России удельный расход огнеупоров в сталеплавильном производстве составлял 23,5 кг/т стали (общий расход около 35 кг/т стали), в 2011 г. 15–15,5 кг/т стали, а к настоящему времени достиг 8–11 кг/т стали. На многих предприятиях процесс снижения удельного расхода огнеупоров продолжается по мере совершенствования схемы футеровки и технологий ухода за ней, применяются новые огнеупорные материалы. Разливка стали плавка на плавку на сортовых МНЛЗ сериями по 80–120 плавков стала нормой. Например, на ООО «НЛМК-Калуга», процесс сопровождается снижением удельного расхода огнеупоров [3]. К сегодняшнему дню установлен рекорд: 270 плавков, разлитых плавка на плавку. Стойкость сталеразливочных ковшей на многих предприятиях достигла 85–100 плавков, а на ряде предприятий превысила 140 плавков. Использование огнеупорного бетона в футеровке сталеразливочных ковшей также способствует снижению удельного расхода огнеупорных материалов [4]. Стойкость подины и стен ДСП на некоторых предприятиях давно достигла 1000 плавков и к сегодняшнему дню на ряде предприятий превысила 2000 плавков. Переход от применения спеченных периклазовых порошков к использованию специальных масс основного состава способствует увеличению стойкости футеровки, а также увеличению производительности ДСП [5].

Совокупность мероприятий, направленных на повышение стойкости огнеупоров в промежуточных ковшах МНЛЗ, переход к использованию огнеупорных бетонов в футеровке дна и стен сталеразливочного ковша при стойкости периклазоуглеродистых огнеупоров в шлаковом поясе 100 плавков, высокая стойкость огнеупорной футеровки ДСП позволили значительно снизить расход огнеупоров в сталеплавильном переделе ООО «НЛМК-Калуга». Удельный расход огнеупоров на этом предприятии достиг 4,04 кг/т годной стали [6].

Несмотря на то, что в себестоимости стали прямые затраты на огнеупоры составляют всего 2–3 %, металлургии постоянно стремятся к снижению затрат на огнеупорные материалы, но с сохранением надежности и гарантий стойкости футеровки. Обычно речь идет об удельных расходах огнеупоров на 1 т стали, хотя удельные затраты на огнеупоры на 1 т стали — более значимый показатель и обычно именно это учитывают при выборе поставщика огнеупорных материалов.

Более интересны потребителям огнеупоров должны быть интегрированные показатели, учитывающие весь комплекс затрат, убытков и прибыли, связанных с использованием огнеупорных материалов. Речь идет об учете суммы прямых эксплуатационных и косвенных затрат, которые несет владелец огнеупорной футеровки теплового агрегата за период ее жизненного цикла, с учетом потерь производства от простоев, в том числе при холодных и горячих ремонтах, для операции контроля за состоянием футеровки и увеличения производства стали при увеличении межремонтного цикла (TCO-Total cost of Ownership — совокупная стоимость владения). Экономические аспекты применения огнеупоров, требующие учета, описаны ниже.

Затраты:

- приобретение, доставка, хранение, таможенное оформление, паспортизация, подача огнеупоров в цех, выполнение футеровочных работ, сушка и разогрев футеровки, холодные и горячие ремонты, приобретение, содержание и эксплуатация соответствующего оборудования (бетоносмесители, торкрет-машины, стенды сушки и разогрева и т. д.);
- организация ломки футеровки при холодных и капитальных ремонтах с содержанием соответствующего оборудования, удаление и утилизация отработанной футеровки.

Покрывтие убытков:

- от плановых простоев производства в периоды ремонтов, а также от сверхплановых и аварийных простоев;
- от негативного влияния на качество металла;
- от неэффективной конструкции футеровки, влияющей, например, на перерасход топлива, способствующей избыточным выбросам CO₂ в технологической производственной цепочке;
- на организацию мониторинга службы футеровки, включая приобретение и эксплуатацию оборудования, например 3D-лазерного сканера, и организацию контроля параметров и режимов эксплуатации футеровки;
- на обеспечение безопасности при выполнении работ и компенсацию ущерба здоровью персонала.

Прибыль:

- от увеличения времени эксплуатации агрегатов, эффективности производственных процессов, емкости металлургических агрегатов и т. д., от увеличения выхода годной продукции.

Очевидно, что сбой в стойкости одного агрегата по вине огнеупоров несет искажение производственной программы по всей технологической цепочке, и это тоже нужно учитывать.

И все же сегодня приходится оценивать прогресс в использовании огнеупоров в металлургии через снижение удельного расхода огнеупоров.

Расширение применения неформованных огнеупоров для футеровки и для ухода за ней в период эксплуатации металлургического агрегата

Использование огнеупорного бетона для футеровки дна и стен сталеразливочных ковшей

Технология реализуется совместными усилиями металлургов и производителей огнеупорных бетонов, осуществляющих инженеринговое обслуживание внедрения новой технологии (рис. 2). Производитель огнеупорных бетонов осуществляет при необходимости проектирование соответствующих производственных участков, поставку оборудования, обучение специалистов заказчика и участвует в выполнении ремонта футеровки по мере необходимости [7–11]. В России активно участвуют в реализации этой программы фирмы: RHI Magnesita (Австрия), VGH GmbH (Германия), ООО «Кералит» (Россия), Seven Refractories (Словения), Calderys (Франция) и др.

Важнейший вопрос технологии применения огнеупорных бетонов в сталеразливочных ковшах — организация процесса сушки и разогрева по заданному режиму. В России широко используются стенды сушки и разогрева фирмы Моресо (Германия), но есть и другие фирмы, предлагающие стенды, оснащенные системой дожигания органических газообразных выделений. Например, успешная на мировом рынке фирма MEFCON (Германия), сотрудничающая с фирмами PRIMETALS (Германия) и Arcelor Mittal (Великобритания) (рис. 3).

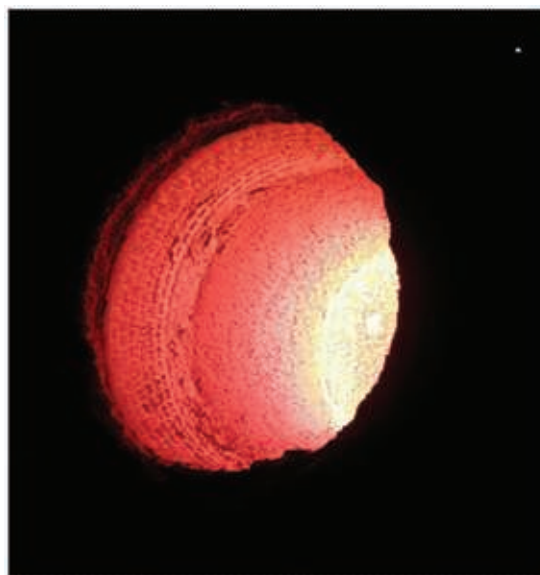


Рис. 2. Сталеразливочный ковш в эксплуатации: бетонная футеровка дна и стен и кирпичная в шлаковом поясе

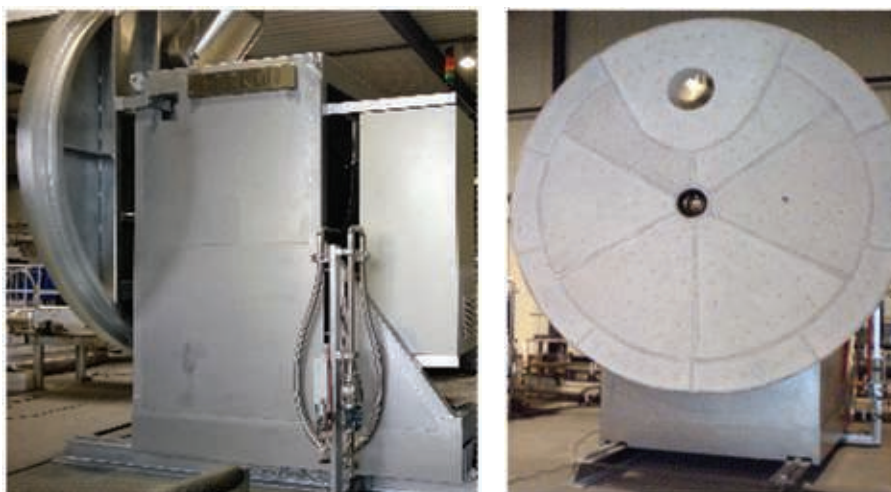


Рис. 3. Горизонтальный стенд сушки и разогрева сталеразливочного ковша фирмы MEFCON

Совершенствование набивных масс для футеровки подины ДСП, а также материалов для поддержания в рабочем состоянии подины, откосов футеровки ДСП [5, 12–14]

Применение набивных масс основного состава системы $MgO-CaO-Fe_2O_3$ способствует увеличению стойкости, подины и масс на откосах ДСП, снижению времени на ремонтные операции и снижению удельного расхода набивных масс. В состав этих материалов входят ферриты магния и кальция, а также в ограниченном количестве силикаты, что позволяет регулировать объем жидкой фазы в огнеупорном материале. При изготовлении масс для подин и для заправки откосов важно наличие минимального количества SiO_2 и Al_2O_3 . Такая масса спекается на глубину 150–250 мм, а шлак, проникая в верхний слой спекшейся части подины, участвует в формировании новых фаз с возникновением на определенной глубине барьера, препятствующего проникновению шлака на большую глубину. В технологии изготовления используются в качестве сырья магнезиты природного происхождения (альпийские и словацкие) или клинкер, синтезируемый в процессе обжига смесей в шахтных или вращающихся печах на огнеупорных предприятиях. Массово производится соответствующий клинкер в Китае, «Мартенит» (производства Группы «Магнезит») также изготавливается из синтетического клинкера заданного состава. Растущее применение в российской практике железа прямого восстановления и железорудных окатышей является дополнительным стимулом к использованию масс системы $MgO-CaO-Fe_2O_3$.

Торкрет-массы для горячего ремонта футеровки сталеразливочных ковшей и стен ДСП [16–18]

Использование этих масс касается стен в шлаковом и подшлаковом поясе, а также для бе-

тонного дна футеровки. Глиноземистые массы используют для ремонта гнездовых кирпичей (донных продувочных фурм и сталеразливочных стаканов) в сталеразливочных ковшах. Для горячего ремонта конвертеров и патрубков вакууматоров используют торкрет-массы и саморастекающиеся массы основного и глиноземистого составов для горячего ремонта футеровки конвертеров и горловины чугуновозных ковшей «торпедо».

Увеличение стойкости футеровки сталеразливочных ковшей с применением технологии шоткретирования [19, 20]

Технология успешно апробирована и внедряется на ряде металлургических предприятий России. Авторы приводят пример повышения стойкости сталеразливочного ковша в конвертерном цехе на 20 и более плавов. В то же время в мировой практике с той же целью используется технология превентивного торкретирования стен сталеразливочного ковша (в Китае, Европе и Индии) через определенное количество плавов с заменой при необходимости периклазоуглеродистых огнеупоров в шлаковом поясе, стойкость ковшей достигает 270 и более плавов [21].

Использование технологий корректировки состава шлака для снижения его агрессивного воздействия на футеровку

Высокомагнезиальные флюсы [22–24] по-прежнему актуальны для регулирования состава шлака в конвертерах, ДСП и сталеразливочных ковшах с целью корректировки разности между содержанием MgO в шлаке и его предельной растворимостью. Учитывая значительную объемную долю MgO в огнеупорной футеровке, с увеличением содержания MgO в

шлаке до известных пределов имеет место торможение износа. Глиноземсодержащие материалы [25, 26], используемые в качестве шлакообразующих материалов различного состава в сталеразливочных ковшах при внепечной обработке, играют важную роль в процессах повышения стойкости футеровки. Технологии регулирования фазового состава шлака используются в том числе с целью исключения процесса пылеобразования (формирования саморассыпающегося шлака), что апробировано на ряде предприятий [27, 28].

Производство высокостойких формованных огнеупоров с более совершенной структурой и оригинальными свойствами

Ожидается, что в течение прогнозируемого периода, несмотря на прирост в использовании неформованных материалов, на долю формованных огнеупоров будет приходиться наибольшая доля рынка огнеупоров в сталеплавильном переделе.

Производство оксидоуглеродистых огнеупоров опирается в основном на применение известных сырьевых материалов, высокий уровень автоматизации технологического процесса с контролем качества приготовления массы для формования изделий, сырьевых материалов и сырца. Контроль за термообработкой изделий в тепловых агрегатах с дожиганием отходящих газов для удаления вредных органических веществ в сочетании с механизацией процесса съема изделий с пресса, укладки изделий на печные вагонетки и съема изделий после печей, их упаковки в термоусадочную пленку также способствуют поступлению заказчику изделий надлежащего качества. Однако важны детали, позволяющие улучшить качество огнеупорного материала, и это ноу-хау каждой фирмы-изготовителя. Использование тщательно подобранного огнеупорного наполнителя оптимизированного фракционного состава и матрицы, подобранных количественно и качественно антиоксидантов для конкретных условий применения по зонам металлургических агрегатов, применение термопластичного связующего наряду с термореактивными синтетическими смолами и т. д. позволяют регулировать структуру огнеупорного изделия, его теплопроводность, ТКЛР и т. д. [29–31] с конечной задачей увеличить стойкость и срок службы оксидоуглеродистых огнеупоров.

Применение эффективных наноконпонентов в составе оксидоуглеродистых и иных видов огнеупоров на протяжении последних 20 лет никак не выйдет за пределы экспериментов. При этом можно отметить

разнообразие предлагаемых идей для производства именно оксидоуглеродистых огнеупоров: применение антиоксидантов в наноформе, катализаторов процесса полимеризации, существенное снижение содержания графита — до 1–3 % и т. д. Изделия с наноконпонентами характеризуются низким коэффициентом термического расширения, существенным снижением теплопроводности, ожидается и существенное повышение устойчивости к воздействию расплавов металла и шлака и т. д. [32–34]. В Индии осуществлен эксперимент по изготовлению и испытанию в промышленных условиях периклазоуглеродистых ковшевых изделий, допированных многостенными углеродистыми трубками. Испытания проведены в шлаковых поясах 300-т сталеразливочных ковшей. После 55 плавов износ участков с использованием опытных огнеупоров на 28 % меньше, чем на соседних участках футеровки того же шлакового пояса с изделиями, изготовленными по обычной технологии [35].

Организационно-технологические способы снижения расхода огнеупоров

Изменение технологии производства продукции

Радикальным шагом в мировой, в том числе и российской металлургии, стал уход от выплавки стали в мартенах, переход от разлива стали в изложницы к непрерывной разливке стали; в производстве цемента переход от мокрого способа производства цементного клинкера к сухому и т. д. Последние четыре мартена в Евросоюзе (завод Liberty Steel Group, Чехия, Острава) к 2023 г. будут заменены на две гибридные сталеплавильные печи. В России аналогичный по цели агрегат (минимизация использования металлического лома, вплоть до полного отказа от этого вида сырья) уже эксплуатируется в ПАО «Уральская сталь». До конца 2021 г. будет введен в эксплуатацию еще один гибридный сталеплавильный агрегат в ПАО «Северсталь». Переход к использованию затворов с многократным применением шибберных плит и стаканов-коллекторов на сталеразливочных ковшах в России еще не завершен.

Создание в металлургическом агрегате щадящих условий для эксплуатации футеровки

Вспенивание шлака в ДСП успешно экранирует излучение от электродов в процессе эксплуатации печи [36]. Раздув конечного шлака (с предварительным его обогащением оксидом магния при необходимости) в конвертере фор-

мирует гарнисаж на рабочей поверхности футеровки, предотвращая интенсивный контакт с расплавом стали и шлака [37]. Организация качественной отсечки шлака при сливе металла из конвертера способствует повышению стойкости футеровки сталеразливочного ковша. Эксплуатация вакууматора при условии максимального количества плавов, обрабатываемых в смену, является одним из факторов, гарантирующих достижение более высокой стойкости огнеупоров в нижнем строении вакууматора, включая патрубки. В то же время вакуумирование 1–3 плавов с длительными межплавочными периодами остывания футеровки создает термические напряжения в огнеупорной футеровке, что отрицательно сказывается на ее стойкости. Применение патрубков вакууматоров — цельных поликерамических изделий (рис. 4), изготавливаемых на огнеупорном предприятии под соответствующим контролем специалистов надлежащей квалификации способствует росту стойкости патрубков. Кроме того, устраняется необходимость футеровки патрубков на металлургическом предприятии



Рис. 4. Патрубок RH-вакууматора в сборе

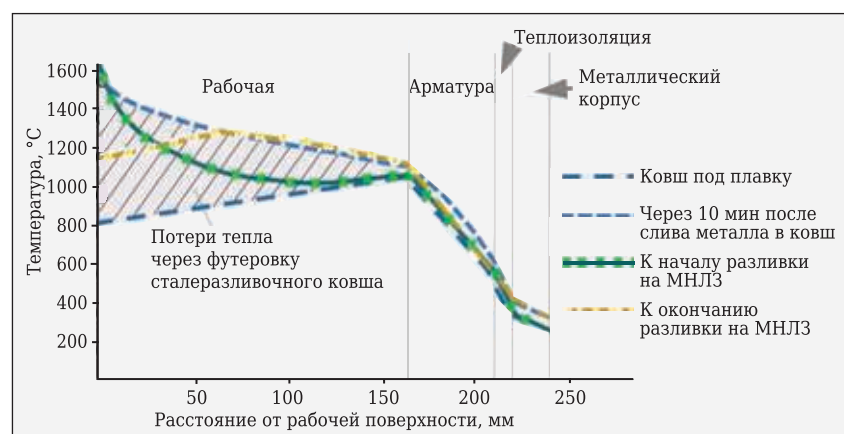


Рис. 5. Кривые распределения температуры в футеровке стен сталеразливочного ковша в разные периоды его эксплуатации

с организацией фактически огнеупорного производства.

Длительные межплавочные простои сталеразливочных ковшей, даже при их размещении на стенде для поддержания температуры футеровки, приводят к охлаждению не только рабочего слоя, но и последующих слоев футеровки. На рис. 5 показана схема изменения температуры в футеровке ковша при наполнении его металлом и после завершения разливки на МНЛЗ (в изложницы). При сливе следующей горячей плавки в охлажденный ковш неизменно возникают термические напряжения в футеровке, что способствует возникновению трещин, скалыванию пропитанного слоя с рабочей поверхности огнеупора, формированию износа футеровки типа «брусчатка». Поэтому чем выше оборачиваемость ковша, тем выше стойкость футеровки.

Использование инструментального контроля за состоянием футеровки в период эксплуатации металлургических агрегатов

Технология с использованием лазерного сканера [38] успешно используется на ряде металлургических предприятий в России с целью оценки состояния футеровки конвертеров, чугуновозных ковшей торпедо и сталеразливочных ковшей. Своевременное выявление участков повышенного износа позволяет выполнять операции по горячему ремонту на конкретных участках футеровки, избегая перерасхода ремонтного материала. Следует отметить, что, помимо обычно используемой системы LaCam фирмы Ferrotron (Германия), существует и иная технология. Технология фирмы Industrial Measuring Systems, Inc. (Канада) — система сканирования IMS 1800TX — позволяет осуществлять съемку состояния футеровки агрегата: чугуновозный ковш торпедо, конвертер, ДСП, сталеразливочный ковш. Для сталеразливочного ковша в 3D-формате, например, помимо сканирования футеровки, можно оценить состояние дна в деталях, в том числе продувочной фурмы, гнездового блока и сталеразливочного стакана, геометрию засыпки стартовой смеси в канал стакана сталеразливочного ковша за короткое время (20–30 с) (рис. 6).

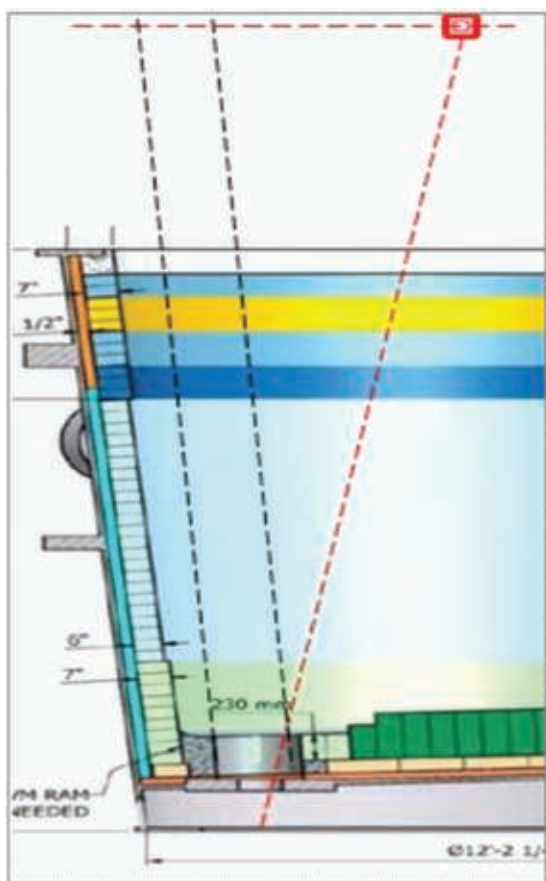


Рис. 6. Мобильная система IMS 1800TX Mobile. Схема сканирования состояния гнездового блока

Оптимизация стойкости агрегатов для снижения удельных затрат

На рис. 7 показана простейшая схема, позволяющая реально сделать корректную оценку существенно сложнее. С этой целью осуществляется комплексная оценка всей футеровки, различных приемов ремонта и горячего ухода за рабочей футеровкой [20, 39–41]. Одновременно с увеличением стойкости увеличивается время на ремонтные операции, то есть имеют место не-

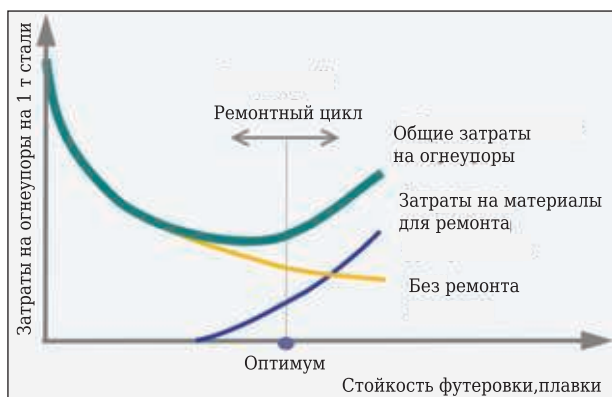


Рис. 7. Оптимизация затрат на огнеупоры в период эксплуатации металлургического агрегата

избежные потери производства металла; затраты на футеровку и ремонтные материалы также растут. Универсальных решений нет, требуется конкретная оценка с учетом всех значимых факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тщательный подбор схем футеровки с усилением интенсивно изнашиваемых зон для создания равностойкости разных участков футеровки, использование многостороннего подхода к решению задачи: взвешенный выбор огнеупорных материалов, контроль состояния футеровки в процессе ее эксплуатации в сочетании с технологиями ухода за футеровкой в этот период — комплексная инженеринговая задача, решение которой в сотрудничестве огнеупорщиков и металлургов позволяет оптимизировать затраты на огнеупорные материалы.

Библиографический список

1. **Satterthwaite, K.** Refractory raw materials — current trends and prospects to 2024 / K. Satterthwaite // Unitecr 2019, Kyoto. — P. 700–703.
2. <https://www.metallinfo.ru/ru/news/110177>, просмотрен в сентябре 2020 г.
3. **Краснянский, М. В.** Разработка металлоприемников для промежуточного ковша, обеспечивающих непрерывную разливку сверхдлинными сериями / М. В. Краснянский, И. В. Егоров, А. Е. Орленко [и др.] // Новые огнеупоры. — 2016. — № 7. — С. 17–21.
4. **Аксельрод, Л. М.** Альтернативная футеровка сталеразливочных ковшей, технический и экономический аспект / Л. М. Аксельрод, В. Гартен // Сб. трудов XV Международного конгресса сталеплавателей и производителей металла. Тула, 2018. — С. 9–17.
5. **Клачков, А. А.** Передовые технологии эксплуатации футеровки электросталеплавильной печи на примере ДСП-135 ОАО «Северский трубный завод» / А. А. Клачков, А. В. Красильников, М. В. Зуев [и др.] // Бюл. «Черная металлургия». — 2013. — № 10. — С. 66–70.
6. Металл Эксперт. Рынок огнеупоров. — 2020. — № 11. — С. 12.
7. **Гартен, В.** Концепция модернизации участка подготовки сталеразливочных ковшей: внедрение и развитие эксплуатации монолитной футеровки, комплекс технологического оборудования / В. Гартен, А. Хохлов, В. Уссельманн, И. Фомина // Новые огнеупоры. — 2013. — № 4. — С. 34–39.
8. **Schnabel, M.** Spinel: in-situ versus preformed-clearing the myth / M. Schnabel, A. Buhr, C. Exenberder, K. Rampitsch // Refractories Worldforum. — 2010. — № 2. — P. 87–93.
9. **Аксельрод, Л. М.** Альтернативная футеровка сталеразливочных ковшей, технический и экономический аспекты / Л. М. Аксельрод, В. Гартен // Бюл. «Черная металлургия». — 2018. — № 12. — С. 72–80.
10. **Клаус, С.** Глобальные перспективы применения глиноземошпинельной футеровки в сталеразливочном ковше / С. Клаус, А. Бур, Дж. Даттон // Новые огнеупоры. — 2019. — № 5. — С. 69–73.

11. **Garten, V.** Introduction of a monolithic working lining of steel ladle / V. Garten, I. Galenko, O. Ziganshina [et al.] // *Interceram: Refractories Manual*. — 2019. — P. 26–29.
12. **Экштайн, В.** ANKERHART — 50 лет существования подовой массы для подин электропечей / В. Экштайн, К.-М. Цеттль, Д. Ванпель // *MetalRussia*. — 2013. — Ноябрь–декабрь. — С. 42–47.
13. **Головин, М. А.** Результаты применения неформованных огнеупорных материалов / М. А. Головин, Л. М. Аксельрод, А. П. Лаптев [и др.] // *Сталь*. — 2008. — № 9. — С. 29, 30.
14. **Ханна, А.** Современный процесс выплавки стали в электродуговых печах и усовершенствование концепций их футеровки / А. Ханна, К.-М. Цеттль // *Новые огнеупоры*. — 2018. — № 11. — С. 3–14.
15. **Firsbach, F.** Dolomite based EAF repair material an alternative to magnesite based materials / F. Firsbach, M. Nispel, G. Bruel [et al.] // 63rd International Colloquium on Refractories proceedings, Aachen, 2020. — P. 155–160.
16. **Wolf, C.** Gunning robots for the hot repair / C. Wolf. — Proceedings of the United International Technical Conference on Refractories (UNITECR'07), 2007, Dresden, Germany. — P. 329–332.
17. **Смирнов, А. Н.** Повышение стойкости сталеразливочных ковшей / А. Н. Смирнов, Г. Г. Немсадзе, С. В. Куберский. — Киев : Альфа-реклама, 2018. — 208 с.
18. **Pagliosa, C.** Self-leveling MgO–C refractory torcrete for hot repairs of oxygen converters and metallurgical ladles / C. Pagliosa, A. Tofanelli, M. Auad // *Unitecr-2007*. — С. 325–328.
19. **Кочергина, Л. Р.** Применение метода шоткретирования для восстановления рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей кислородно-конвертерного цеха ПАО ММК / Л. Р. Кочергина, С. В. Шевченко, Б. А. Сарычев // *Новые огнеупоры*. — 2020. — № 10. — С. 3–5.
20. **Coefti, G.** Steel ladle management: an integrated view of the challenges in resistance, environmental impact and economic issues / G. Coefti, L. Folco // 63rd International Colloquium on Refractories, 2020. — P. 161–166.
21. **Lio, Y.** Improvement of the refractory lining life steel ladle / Y. Lio, H. Tsukigase, S. Ito, M. Satoh // *UNITECR 2019, Kyoto*. — P. 759–762.
22. **Аксельрод, Л. М.** Повышение стойкости футеровки ДСП путем использования MgO–CaO флюса / Л. М. Аксельрод, М. Б. Оржих, И. В. Кушнерев // *Электрометаллургия*. — 2009. — № 11. — С. 9–13.
23. **Демидов, К. Н.** Высокомагнезиальные флюсы для сталеплавильного производства / К. Н. Демидов, Т. В. Борисова, А. П. Возчиков [и др.]. — Екатеринбург : Уральский рабочий, 2013. — 280 с.
24. **Устинов, В. А.** Модель оценки эффективности использования высокомагнезиальных флюсов на примере корректировки состава шлака в сталеплавильном цехе / В. А. Устинов, Л. М. Аксельрод, М. Б. Оржих // *Сталь*. — 2011. — № 7. — С. 30–36.
25. **Шешуков, О. Ю.** Влияние фазового состава рафинировочного шлака на стойкость футеровки агрегата ковш–печь / О. Ю. Шешуков, И. В. Некрасов, М. А. Михеенков [и др.] // *Новые огнеупоры*. — 2016. — № 3. — С. 95–102.
26. **Вермайер, К.** Влияние синтетических шлаков на срок службы огнеупора сталеразливочного ковша / К. Вермайер, Э. Элорза-Рикар, Р. Жолли [и др.] // *Огнеупоры и техническая керамика*. — 2009. — № 1/2. — С. 30–35.
27. **Шешуков, О. Ю.** Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства / О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков, И. В. Некрасов [и др.]. — Нижний Тагил : НТИ УРФУ, 2017. — 207 с.
28. **Иваница, С. И.** Стабилизация шлаков внепечной обработки стали в условиях ООО «НЛМК-Калуга» / С. И. Иваница, Л. М. Аксельрод, И. В. Кушнерев [и др.] // *Сталь*. — 2018. — № 1. — С. 20–23.
29. **Аксельрод, Л. М.** Способы увеличения продолжительности срока службы перикладоуглеродистых изделий в футеровке сталеразливочных ковшей ОМЗ-Спецсталь / Л. М. Аксельрод, Т. В. Ярушина, А. В. Заболотский [и др.] // *Новые огнеупоры*. — 2016. — № 3. — С. 90–95.
30. **Кащеев, И. Д.** Оксидоуглеродистые огнеупоры / И. Д. Кащеев. — М. : Интермет Инжиниринг, 2000. — 265 с.
31. **Вислогужева, Э. А.** Анализ влияния качества перикладоуглеродистых огнеупоров на свойства футеровки конвертеров / Э. А. Вислогужева, И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной // *Новые огнеупоры*. — 2013. — № 3. — С. 129–133.
32. **Аксельрод, Л. М.** Развитие производства огнеупоров в мире и в России, новые технологии / Л. М. Аксельрод // *Новые огнеупоры*. — 2011. — № 3. — С. 106–119.
33. **Ярушина, Т. В.** Влияние однослойных УНТ на свойства огнеупоров состава MgO–C с ультранизким содержанием углерода: огнеупоры нового поколения / Т. В. Ярушина, М. Ю. Турчин, М. А. Ерошин, В. Е. Мурадян // *Новые огнеупоры*. — 2019. — № 5. — С. 61, 62.
34. **Yawei, L.** Carbon nanotubes application in carbon containing refractories / L. Yawei, L. Ming // *Refractories Worldforum*. — 2012. — № 4. — P. 38–43.
35. **Roy, I.** Development of improved quality magnesite carbon brick by incorporation of industrial grade functionalised multi-walled carbon nanotube / I. Roy, D. Hander, B. Mishra // *Interceram: Refractories Manual*. — 2017. — № 66. — P. 58–62.
36. **Luz, A. P.** Slag foaming: fundamentals, experimental evaluation and application in the steelmaking industry / A. P. Luz, T. A. Avila, P. Bonadia [et al.] // *Refractories Worldforum*. — 2011. — № 2. — P. 91–98.
37. **Калиш, Д.** Исследование физико-химических свойств шлака при его разбрызгивании на футеровку кислородного конвертера / Д. Калиш, В. О. Синельников, К. Куглин // *Новые огнеупоры*. — 2017. — № 3. — С. 78–83.
38. **Lamm, R.** Optimization of ladle refractory lining, gap and crack detection, lining surface temperature and sand-filling of the ladle-taphole by means of a 3D-laserprofile-measurement system that is immersed into hot ladle to evaluate the entire condition / R. Lamm, S. Kirchhoff // *UNITECR 2017, Proceedings 2017*. — P. 604–607. ■

Получено 05.10.2021

© Л. М. Аксельрод, В. Гартен, 2021 г.