

Биргит Белльгардт¹, Сара Кёлер¹, Бернд Нойбауэр¹, Роланд Пунгерсек² (✉)¹ RHI AG, Технологический центр, г. Леобен, Австрия² RHI AG, Подразделение Сталь, г. Вена, Австрия

УДК 666.762.32:[669.184.244.66+669.187.2](436)

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ВЫПУСКНОГО ОТВЕРСТИЯ ДЛЯ ОСОБЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Одной из важнейших зон кислородного конвертера и электродуговой печи (ДСП) является выпускное отверстие (летка), так как от него зависят как эксплуатационная готовность агрегата, так и качество внепечной обработки стали. Для сокращения технического обслуживания и ремонта летки необходимо постоянное усовершенствование огнеупоров для этой зоны за счет изменения состава сырья и технологии производства. Это касается как сегментных леточных блоков, так и изостатически прессованных. На сталеплавильных предприятиях, ориентированных на технологию производства чистой стали, эффективное разделение шлака и металла во время выпуска плавки обеспечивает максимальное снижение попадания шлака в сталеразливочный ковш и в то же время увеличение выхода годного металла. Для изучения влияния различных конструкций леточного канала на количество шлака, попадающего в сталеразливочный ковш, и остаточного металла в конце выпуска плавки было проведено моделирование с применением методов вычислительной гидродинамики computational fluid dynamics — CFD. Моделирование показало, что повышение чистоты стали и выхода годного металла возможно при использовании летки типа HYFLO с выпускным каналом, оптимизированным методом CFD.

ВВЕДЕНИЕ

Летка конвертера и ДСП состоит из сегментных или цельных внутренних блоков (катушек) и гнездовых блоков. Кольцевой зазор заполняется огнеупорной массой (рис. 1, 2). На протяжении многих лет компания RHI предлагает своим заказчикам высококачественные летки, а также различные машины для быстрого и точного ремонта [1–3]. Для удовлетворения потребностей сталеплавильного производства был начат проект по усовершенствованию леток конвертера и ДСП, целью которого стали повышение производительности и разработка конкурентоспособной продукции, специально созданной для конкретных применений. Проект предусматривал также расширение ассортимента продукции за счет использования изостатически прессованных леточных блоков наряду с сегментными.

Основное требование заказчика — сокращение длительности обслуживания и ремонта летки для повышения эффективности производства стали. На основании результатов исследо-

ваний отработанных огнеупорных изделий были созданы новые марки продукции, которые были протестированы в различных промышленных условиях. Во всех случаях было зафиксировано повышение производительности за счет оптимизации потока стали при выпуске. Кроме того, путем моделирования с применением метода CFD были изучены геометрия каналов применительно к попаданию шлака в сталеразливочный ковш в конце выпуска и влияние этого фактора на производство чистой стали, а также определено количество остаточной стали. Результа-

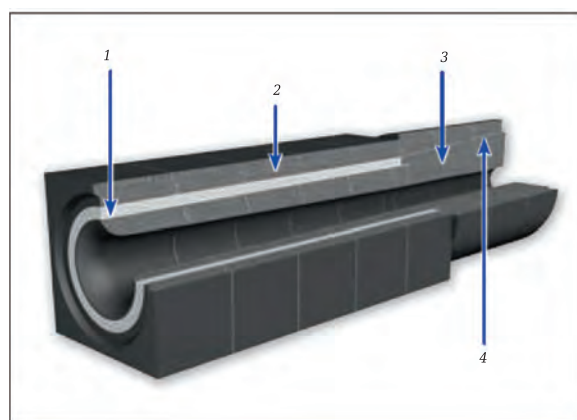


Рис. 1. Летка конвертера HYFLO C: 1 — кольцевой зазор; 2 — гнездовые блоки; 3 — внутренний блок; 4 — мертвель



Роланд Пунгерсек
E-mail: roland.pungersek@rhi-ag.com

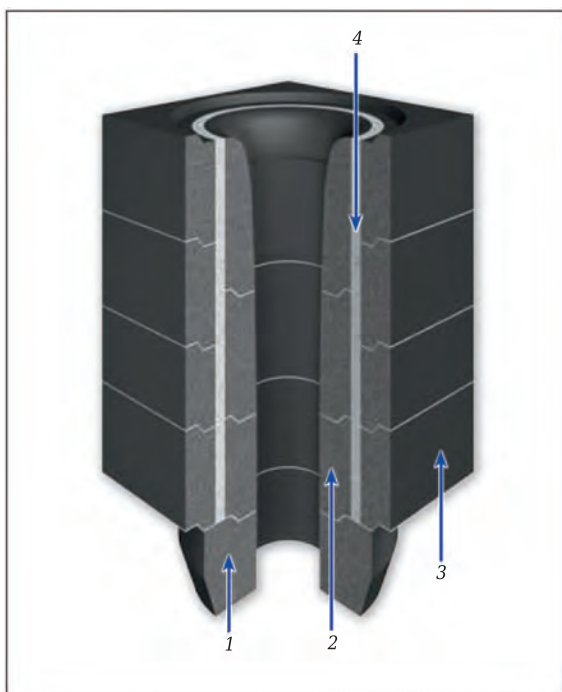


Рис. 2. Эркерная летка (ЕВТ) ДСП: 1 — концевой кирпич эркерной летки; 2 — кольцевой зазор; 3 — гнездовые блоки; 4 — внутренний блок

ты исследований показали, что выход годного и чистота стали могут быть повышены за счет использования летки HYFLO с выпускным каналом, оптимизированным методом CFD.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ ОГНЕУПОРНЫХ БЛОКОВ СЕГМЕНТНОЙ ЛЕТКИ

Результаты исследований отработанных блоков сегментной летки RHI показали, что основными причинами их износа являются высокотемпературная эрозия, окисление и коррозия из-за агрессивного воздействия FeO, приводящего к образованию магнезиовюстита. Кроме того, было установлено, что захват известково-

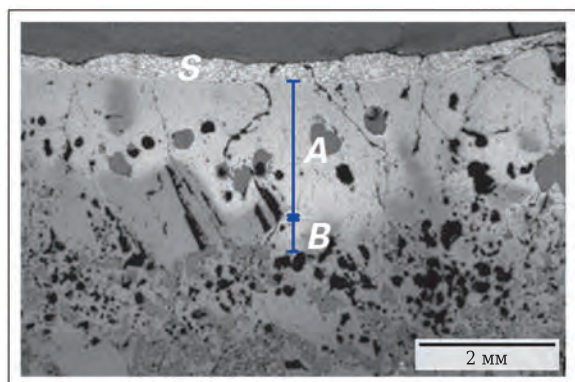


Рис. 3. Микроструктура отработанного леточного блока MgO-C с видимым слоем шлака с горячей стороны S, зоной магнезиовюстита A и второй зоной с преобладанием силиката кальция B

силикатного шлака повышает коррозию материала летки. На рис. 3 показаны слой шлака с горячей стороны, широкая зона с высоким содержанием оксида железа и магнезиовюстита ((Mg,Fe)O), а ниже вторая зона, в которой преобладают силикаты кальция. Непосредственно под второй зоной видно, что окислению подвергся в основном углерод, а мелкая фракция полностью растворилась, однако зерна магнезиовюстита с крупными кристаллами сохранились.

С учетом этих результатов были определены направления дальнейшей оптимизации свойств материалов. Такие материалы должны иметь плотную структуру, низкую пористость, высокую прочность в нагретом состоянии и точно сбалансированное содержание углерода.

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ОГНЕУПОРНЫХ БЛОКОВ СЕГМЕНТНОЙ ЛЕТКИ

Для достижения заданных характеристик материала для зоны летки были оптимизированы состав сырья, а также технология производства. Применяли высокоочищенную плавленную магнезию FMN98 TOP, которая производится на заводе RHI в Норвегии, с очень крупными кристаллами периклаза размерами до 2000 мкм (рис. 4); графит высокой чистоты с низким содержанием золы, с пластинами повышенной толщины, а также с примесями, присутствующими на поверхности, а не в базисной плоскости, для большего окисления и устойчивости к коррозии (рис. 5); металлокерамическую связку с тщательно по-

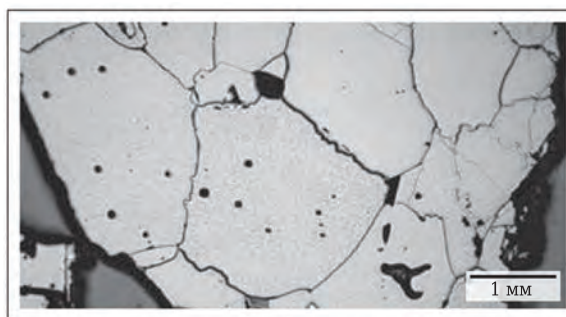


Рис. 4. Высокоочищенная плавленная магнезия FMN98 TOP

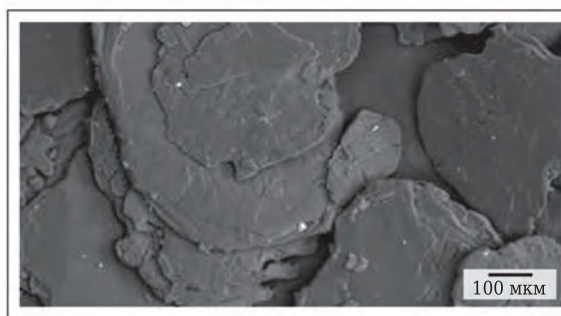


Рис. 5. Высокочистый графит с пластинами повышенной толщины

добранным составом. При этом важную роль в разработках сыграли усовершенствование процесса прессования и новая установка вакуумной пропитки высокого давления на заводе Радентайн, Австрия.

В результате проведенной работы были созданы три новые марки огнеупорных изделий для зоны летки с улучшенными свойствами (табл. 1). Огнеупор ANKERTAP HMC269X для летки конвертера обладает повышенной плотностью по сравнению со стандартной маркой. На рис. 6 видны высокая степень заполнения матрицы, однородное распределение тонкой и сверхтонкой магнезии, а также углеродсодержащие компоненты. Огнеупор ANKERTAP HMC287X отличается значительным увеличением кажущейся плотности и пониженным содержанием мелких фаз, что обеспечивает высокие коррозионную стойкость и стойкость к окислению. При повышенных температурах физические свойства огнеупора значительно (см. табл. 1, показатели при

1500 °С) улучшаются. У огнеупоров ANKERTAP HMC269X и ANKERTAP HMC287X наблюдается повышенный предел прочности при изгибе в горячем состоянии, являющийся показателем устойчивости к высокотемпературной эрозии. Кроме того, углеродная связка этих огнеупоров обеспечивает им достаточную остаточную гибкость и хорошую стойкость к окислению. При разработке огнеупора для ДСП особое внимание уделяли выбору оптимальной металлокерамической связки, в результате появилась новая марка огнеупора ANKERTAP TB077.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ СЕГМЕНТНОЙ ЛЕТКИ

Новые марки блоков ANKERTAP HMC269X и ANKERTAP HMC287X для летки конвертера были испытаны на предприятиях нескольких заказчиков. Обобщенные результаты испытаний показаны на рис. 7. При увеличении скорости выпуска металла на каждой плавке уменьшился

Таблица 1. Характеристика огнеупоров для сегментной летки конвертера и ДСП

Показатели*	Огнеупоры для конвертера			Огнеупоры для ДСП	
	стандартная марка	ANKERTAP HMC269X	ANKERTAP HMC287X	стандартная марка	ANKERTAP TB077
Физические свойства:					
BD, г/см ³	3,19	3,23	3,30	3,01	3,00
AP, об. %	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
CCS, Н/мм ²	90	90	80	50	50
После прокаливании при 1000 °С:					
BD, г/см ³	3,14	3,18	3,23	2,97	2,97
AP, об. %	6,5	6,0	6,0	8,0	7,0
CCS, Н/мм ²	80	80	70	50	50
После прокаливании при 1500 °С:					
BD, г/см ³	3,04	3,07	3,20	–	–
AP, об. %	10	9	7	–	–
НМОР при 1400 °С (в восстановительных условиях), Н/мм ²	3	6	9	25	29
Химический состав, мас. %:					
MgO	98,0	98,0	98,5	88,1	88,5
C	6	6	4	16	16

* BD — плотность; AP — открытая пористость; CCS — предел прочности при сжатии в холодном состоянии; НМОР — предел прочности при изгибе в горячем состоянии.

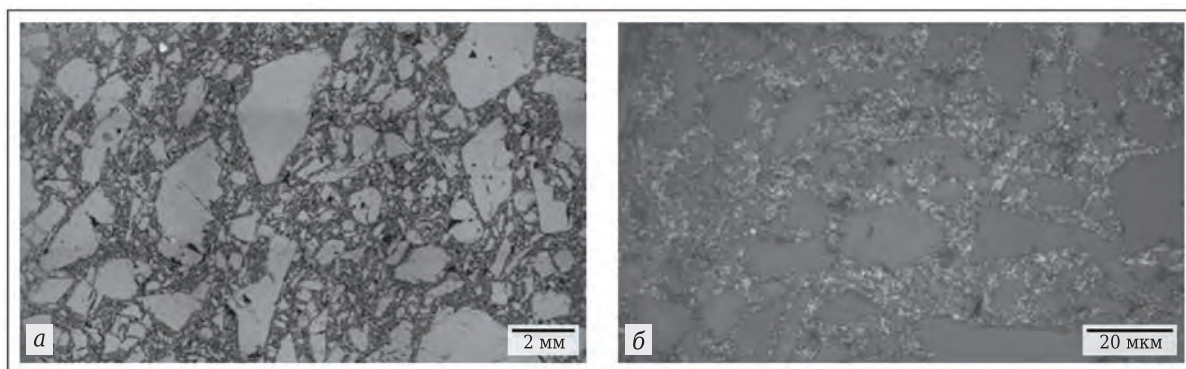


Рис. 6. Огнеупор ANKERTAP HMC269X: а — плотная микроструктура; б — частицы тонкой и сверхтонкой магнезии, а также углеродсодержащих компонентов

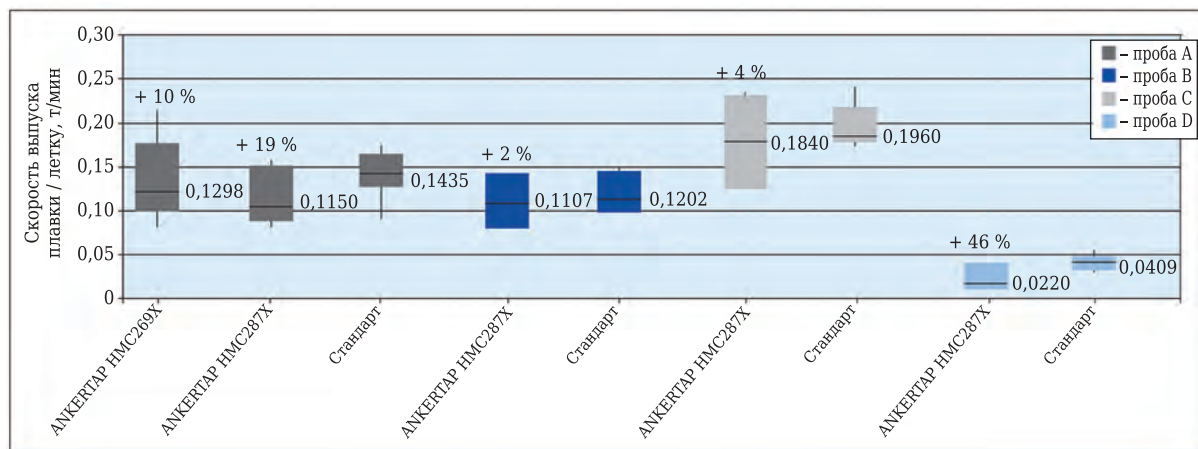


Рис. 7. Диаграмма промышленных испытаний огнеупоров для сегментной летки. Средние значения показаны линией внутри блоков и цифрами рядом; увеличение производительности определено по средним показателям скорости выпуска

износ внутренних катушек летки. В ходе испытаний обе марки огнеупоров ANKERTAP HMC269X и ANKERTAP HMC287X продемонстрировали повышение производительности на 2–46 %. Как следствие положительных результатов испытаний, теперь обе эти марки огнеупоров представлены на рынке. В настоящее время в сталеплавильных цехах проходит испытания огнеупор марки ANKERTAP ТВ077, предназначенный для летки ДСП.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ЛЕТОЧНЫЕ БЛОКИ

После слияния с Orient Refractories, Ltd, Байвади (Индия), у компании RHI появилась возможность проводить изостатическое прессование. Это позволило расширить ассортимент леточных блоков. Компания RHI сосредоточилась на промышленных испытаниях уже существующих изостатически прессованных марок продукции, модификации исходного состава и разработке новых марок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕТОЧНЫХ БЛОКОВ

Леточные блоки марки ANKERTAP WX10 были изготовлены при более высоком давлении изостатического прессования, чем обычно применяется для изостатически прессованных изделий металлопроводки; леточные блоки марки ANKERTAP IMR802 изготовлены при еще более высоком давлении прессования. Характеристика блоков для летки конвертера приведена в табл. 2.

На одном из сталеплавильных предприятий в США проводили эксплуатационные испытания для сравнения блоков обеих марок. При равных условиях эксплуатации конвертера и одинаковой конструкции летки производительность изостатически прессованного леточного блока марки ANKERTAP IMR802 оказалась более

чем на 50 % выше, чем у леточного блока марки ANKERTAP WX10, за счет снижения скорости износа. Результаты испытаний с увеличением скорости выпуска на плавку показаны на рис. 8.

Исследования отработанных огнеупорных изделий марки ANKERTAP IMR802 показали присутствие слоя шлака на горячей стороне, восстановленного слоя, содержащего магнезиовюстит, и вкраплений железа, а также восстановленного слоя с вторичными фазами (рис. 9). Слой, содержащий магнезиовюстит, защищает графит от окисления. Кроме того, в огнеупорном материале не наблюдалось инфильтрации металлом. Благодаря введению металлического порошка образовались карбиды, которые обе-

Таблица 2. Характеристика изостатически прессованных блоков для летки конвертера

Показатели*	ANKERTAP WX10	ANKERTAP IMR802
Физические свойства:		
BD, г/см ³	2,86	3,02
AP, об. %	4,0	2,1
CCS, Н/мм ²	44,0	65,6
MOR, Н/мм ²	18,0	15,1
HMOR при 1400 °С (в восстановительных условиях), Н/мм ²	18,0	13,3
После прокаливании при 1000 °С:		
BD, г/см ³	2,88	2,97
AP, об. %	9,0	9,7
CCS, Н/мм ²	42,0	36,2
MOR*, Н/мм ²	6,0	3,1
После прокаливании при 1500 °С:		
BD, г/см ³	2,81	2,94
AP, об. %	12,1	11,2
CCS, Н/мм ²	29,5	27,3
MOR, Н/мм ²	4,8	–
Химический состав, мас. %:		
MgO	85	95
C	17	9

* MOR — предел прочности при изгибе.

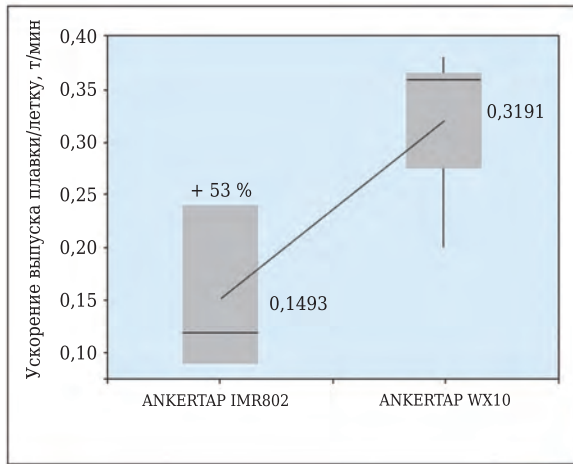


Рис. 8. Сравнительная диаграмма результатов промышленных испытаний изостатически прессованных леточных блоков марок ANKERTAP IMR802 и ANKERTAP WX10. Средние значения показаны линией внутри блоков и цифрами рядом. Увеличение производительности определено по средним показателям

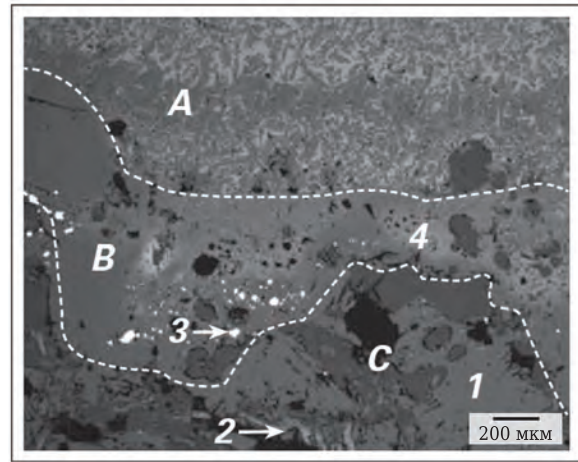


Рис. 9. Микроструктура отработанного леточного блока ANKERTAP IMR802: A — слой шлака с горячей стороны; B — восстановленный слой с содержанием магнезиовюстита; C — восстановленный слой с вторичными фазами; 1 — зерна периклаза; 2 — графит; 3 — вкрапления железа; 4 — магнезиовюстит

спечили прочность материала. На поверхности видны трещины, образование которых, скорее всего, связано с механическими нагрузками в процессе эксплуатации.

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ИЗОСТАТИЧЕСКИ ПРЕССОВАННЫХ ЛЕТОЧНЫХ БЛОКОВ

Разработка новых марок изостатически прессованных блоков для летки конвертера и ДСП включала углубленный анализ эталонных марок RHI и всестороннее изучение специализированной литературы. Для создания высокоэффективной про-

дукции важное значение имеет тщательный отбор материалов матрицы. Так же, как и для огнеупорных блоков сегментной летки, в этих разработках в качестве основного сырья использовали высокоочищенную плавленную магнезию FMN98 TOP от завода RHI в Норвегии (см. рис. 4) с очень крупными кристаллами периклаза, а также графит высокой чистоты (см. рис. 5) для обеспечения большей стойкости к окислению и коррозии. Кроме того, было подобрано оптимальное соотношение металлических добавок и углерода, что позволило значительно улучшить физические свойства материала (табл. 3), а также повысить его шлакоустойчивость

Таблица 3. Характеристика новых марок* изостатически прессованных блоков для летки конвертера и ДСП

Показатели	Марка для конвертера ANKERTAP IMR802	Новые марки для конвертера		Новая марка для конвертера и ДСП ANKERTAP IMR801X	Новые марки для ДСП	
		ANKERTAP IMR815X	ANKERTAP IMR825X		ANKERTAP IMR814BX	ANKERTAP IAR849X
Физические свойства:						
BD, г/см ³	3,02	2,93	2,94	2,86	2,94	3,14
AP, об. %	2,1	0,4	0,6	1,2	3,1	0,4
CCS, Н/мм ²	65,6	80,4	50,0	47,0	80,7	146,0
MOR, Н/мм ²	15,1	20,3	14,0	11,9	17,7	33,3
HMOR при 1400 °С (в восстановительных условиях), Н/мм ²	13,3	22,0	14,0	16,1	15,0	11,0
После прокаливания при 1000 °С:						
BD, г/см ³	2,97	2,82	2,65	2,74	2,82	3,04
AP, об. %	9,7	13,6	18,6	13,5	11,6	13,2
CCS, Н/мм ²	36,2	29,1	24,0	15,6	33,7	68,1
MOR, Н/мм ²	3,1	2,7	4,0	0,9	2,9	7,7
стойкость к окислению при 1000 °С	+	+++	+++	++	++	+
абразивный износ, см ³	13,0	11,4	12,6	16,2	10,2	5,7
Химический состав, мас. %:						
MgO	94	93	90	90	91	—
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	—	81
C	9	11	12	13	11	9

* Новые марки продукции не подвергались плотному прессованию.

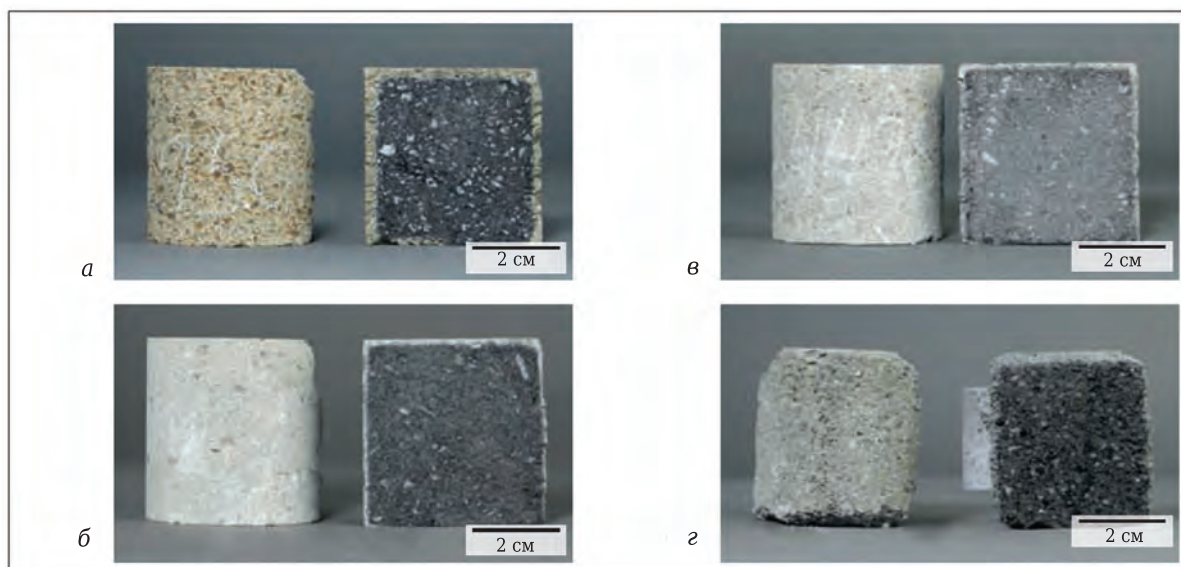


Рис. 10. Изображение различных материалов после испытания на стойкость к окислению в течение 2 ч при 1000 °С в окислительной среде: *а* — ANKERTAP IMR802; *б* — ANKERTAP IMR815X; *в* — ANKERTAP IMR825X; *г* — ANKERTAP IMR801X

и стойкость к окислению по сравнению с материалом летки марки ANKERTAP IMR802. Поскольку стойкость к окислению является существенным критерием для материалов летки конвертера, этот показатель был протестирован в окислительной среде при температуре 1000 °С (рис. 10).

Внутренние леточные блоки (катушки) в процессе эксплуатации подвержены эрозии. Поэтому для сравнения поведения различных марок продукции было проведено испытание на абразивный износ при комнатной температуре (см. табл. 3). В ходе испытания выполняли замер объема материала (см³), истираемого с плоской поверхности, расположенной под углом 90° к соплу, через которое при определенном давлении вдувался 1 кг отсортированных по крупности зерен карбида кремния.

Для заказчиков, которым требуются обожженные блоки, была разработана марка огнеупора с тщательно подобранным количеством металлических добавок, которая обеспечивает более длительный срок службы и повышенную термостойкость (ANKERTAP IMR814BX). Благодаря оптимальному соотношению металлических порошков можно избежать гидратации карбида алюминия (Al₄C₃).

На некоторых сталеплавильных предприятиях наблюдалось постоянное образование трещин на леточных блоках, связанное с резким нагревом до температуры выпуска после охлаждения во время технического обслуживания. Это приводило к проникновению металла в трещины и образованию сколов. Для решения этой проблемы в огнеупорный материал была введена специальная добавка, создающая более гибкую структуру. Результаты лабораторных испытаний показали, что разрушений нового материала,

вызванных термоударом, не наблюдалось. Для оценки производительности новой марки продукции планируется провести ряд эксплуатационных испытаний.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАХВАТА ШЛАКА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛА ЛЕТКИ

В конце выпуска плавки, когда уровень металла существенно снижается, некоторое количество шлака попадает в канал летки. Для исследования этого процесса и изучения возможности снижения количества остаточного металла и шлака, попадающего в летку, при различной геометрии канала летки был применен метод CFD.

Захват шлака происходит в связи с турбулентностью потока при взаимодействии металла и шлака. Этот процесс может быть изучен с помощью модели вихря Рэнкина и методом полого вихря. Модель вихря Рэнкина используют для описания потока, проходящего через отверстие, для нижних уровней ванны, так как на данном этапе поток крайне турбулентный [4]. Метод описывает завихряющийся поток, возникающий в результате вынужденного вихря в центральном ядре, окруженном потенциальным/невихревым потоком. Модель полого вихря может быть использована для описания вихря в системе, содержащей две жидкости, когда более легкая жидкость изначально находится поверх более тяжелой. После образования вихря более легкая жидкость находится в состоянии покоя, а окружающая — в движении. Это влияет на устойчивость вихря [5].

Следующее исследование касалось летки конвертера, однако его результаты действительны и для летки ДСП. Были исследованы три вида

летки — летка CYL с цилиндрической геометрией канала диаметром 140 мм, летка HYFLO с каналом, оптимизированным методом CFD, с переходом от входного диаметра канала 170 мм к выходному диаметру 110 мм и летка с цилиндрическим каналом диаметром 120 мм с конусной областью входа и уменьшением входного диаметра от 180 до 120 мм (рис. 11). При тестировании в реальных условиях эксплуатации начальное



Рис. 11. Моделирование леток с разной геометрией канала: а — цилиндрическая CYL диаметром 140 мм; б — летка HYFLO с переходом от входного диаметра 170 мм к выходному диаметру 110 мм; в — цилиндрическая с конусной областью входа (CONICAL) с уменьшением входного диаметра от 180 до 120 мм

время выпуска всех трех видов летки одинаково. При моделировании была исследована также одна зона конвертера, непосредственно прилегающая к летке.

В начале моделирования высота уровня металла в конвертере составляла 1 м, а толщина слоя шлака 0,3 м. Под воздействием силы тяжести на модель металл и шлак полностью вытекли из конвертера. Захват шлака и уровень остаточного металла измеряли по количеству шлака, попавшего в область поперечного сечения на расстоянии 10 см от выходного отверстия летки, с увеличением от 0 до 100 % (рис. 12). Летка с цилиндрической геометрией канала показала наличие самого высокого уровня остаточного металла и наибольший захват шлака, в то время как при моделировании летки HYFLO наблюдались минимальное количество остаточного металла и минимальный захват шлака. Для более подробного сравнительного анализа трех

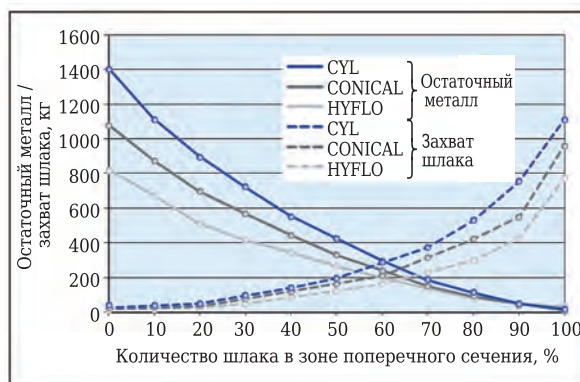


Рис. 12. Остаточный металл и захват шлака при использовании цилиндрической летки CYL, летки HYFLO и конической летки CONICAL по количеству шлака, попавшего в область поперечного сечения на расстоянии 10 см от выходного отверстия летки с увеличением от 0 до 100 %

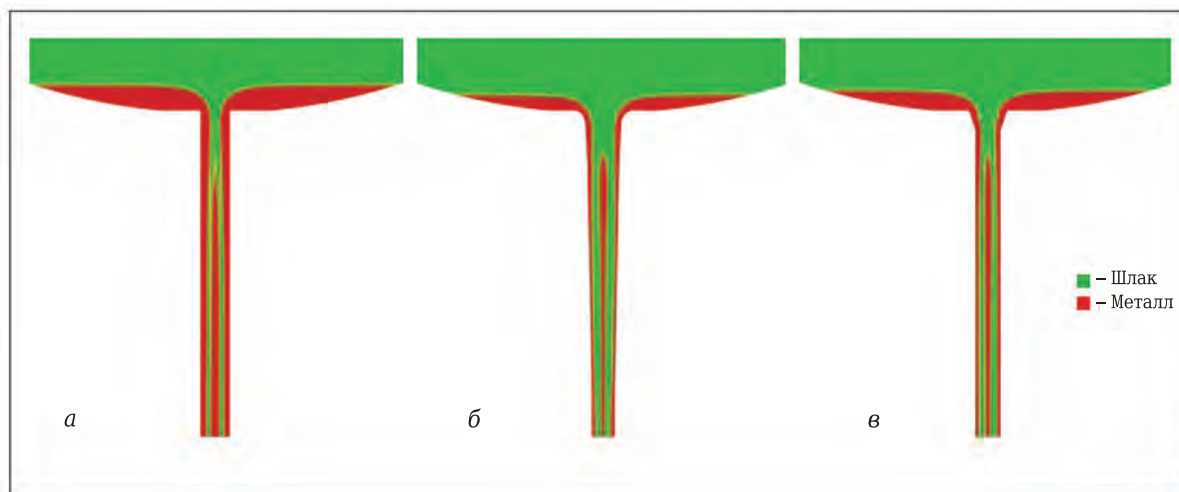


Рис. 13. Сравнение уровня остаточного металла при разных летках конвертера, когда зона поперечного сечения на расстоянии 10 см от выходного отверстия летки на 20 % заполнена шлаком: а — CYL; б — HYFLO; в — CONICAL

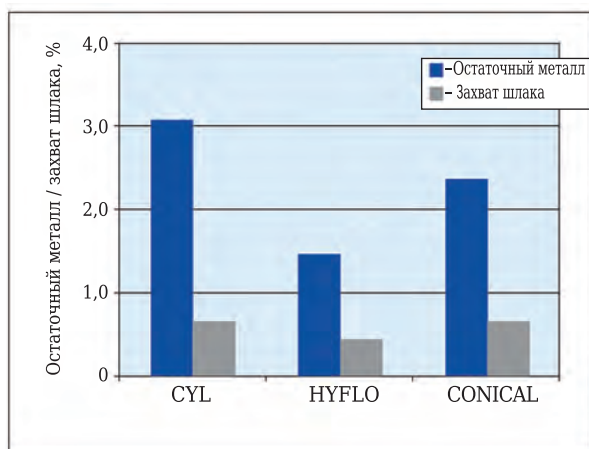


Рис. 14. Сравнение уровня остаточного металла и захвата шлака при разных летках конвертера (CYL, HYFLO и CONICAL), когда область поперечного сечения на расстоянии 10 см от выходного отверстия летки на 20 % заполнена шлаком

каналов летки с разной геометрией количество остаточного металла и захват шлака были исследованы в тот момент, когда область поперечного сечения на расстоянии 10 см от выходного отверстия летки была на 20 % заполнена шлаком (рис. 13). В этот момент у всех трех видов канала летки наблюдалось измеримое различие между захватом шлака и количеством остаточного металла. За счет конусной области входа на цилиндрической летке количество остаточного металла снизилось приблизительно на 0,7 % по сравнению с обычной цилиндрической леткой без модифицированной зоны входа, но захват шлака при этом не изменился (рис. 14). При применении летки HYFLO количество остаточного металла снизилось на 53 % по сравнению с цилиндрической леткой, а захват шлака на 43 %, что эквивалентно увеличению выхода годного более чем на 3 т/плавку, если речь идет, например, о 200-т

Библиографический список

1. **Bachmayer, J.** Electric arc furnace taphole changing systems / J. Bachmayer, R. Sorger // RHI Bulletin. — 2006. — № 2. — С. 34–37.
2. **Jeitler, J.** i-TAP BOF: the new converter taphole system / J. Jeitler, R. Pungerssek, G. Sauer // RHI Bulletin. — 2007. — № 1. — С. 20–23.
3. **Pungerssek, R.** Twenty years of ISOJET converter tapholes and the TBD changing device / R. Pungerssek, W. Schantl, J. Pagger, R. Weiss // RHI Bulletin. — 2010. — № 2. — С. 23–29.
4. **Siekman, H. E.** Strömungslehre: Grundlagen / H. E. Siekman, P. U. Thamsen. — Springer : Berlin, Heidelberg, New York, 2007.

конвертере. В этом состоит явное преимущество летки с выпускным каналом, оптимизированным методом CFD, благодаря которой снижается турбулентность в области входа. Уменьшение диаметра цилиндрической летки привело лишь к минимальному снижению остаточного уровня металла и не уменьшило захват шлака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время на рынке представлены три высококачественных марки огнеупорных блоков для летки конвертера. Недавно разработанные марки ANKERTAP HMC269X и ANKERTAP HMC287X являются высококлассными блоками для сегментной, а ANKERTAP IMR802 для изостатически прессованной летки конвертера. В результате эксплуатационных испытаний были установлены дополнительные преимущества материалов, специально созданных для достижения конкретных целей и повышения производительности. Новые марки высококачественных леточных блоков для ДСП также будут успешно представлены на рынке.

Моделирование с применением методов вычислительной гидродинамики (CFD) позволило проследить взаимосвязь между геометрией канала летки и захватом шлака и показало, что выпускной канал, оптимизированный методом CFD, имеет значительные преимущества в отношении уровня остаточного металла и захвата шлака по сравнению со стандартным цилиндрическим и коническим каналами. В настоящее время продолжают исследования с применением моделирования процесса выпуска металла из конвертера и ДСП, результаты которых позволят оценить преимущества леток с разной геометрией канала. Кроме того, в качестве вспомогательного средства и для визуализации полученных результатов планируется использование водной модели.

5. **Llewellyn Smith, S. G.** Structure and stability of hollow vortex equilibria / S. G. Llewellyn Smith, D. G. Crowdy // J. Fluid Mech. — 2012. — Vol. 691. — С. 178–200. ■

Получено 08.04.18
 © Биргит Бельгардт, Сара Кёлер,
 Бернд Нойбауэр, Роланд Пунгерсек, 2019 г.
 Пер. — **О. Н. Дегтярева (РХИ Восток)**