

УДК 666.364:621.746.329

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЛЮСОВ В 130-Т СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНЫХ КОВШАХ

Рассмотрен опыт применения обожженного магнезиальноизвесткового флюса (ФОМИ) в 130-т сталеразливочных ковшах. Изучены характер износа футеровки, свойства шлака и гарнисажа после введения флюса.

Ключевые слова: огнеупоры, сталеразливочный ковш, обожженный магнезиальноизвестковый флюс (ФОМИ), магнезиальный шлак, гарнисаж, твердая шлакообразующая смесь (ТШС).

Экономичность производства стали и производительность плавильных агрегатов во многом зависят от стойкости футеровки, подвергающейся не только механическим и тепловым нагрузкам, но и агрессивному воздействию шлака. Разрушающее воздействие шлаков по отношению к основной футеровке определяется содержанием MgO в шлаковом расплаве и массой шлака. Считается, что химический износ футеровки составляет примерно 70 % от общей доли износа огнеупоров.

Для уменьшения химического воздействия шлака на магнезиальную футеровку он должен находиться в области насыщения MgO. Теоретической предпосылкой этого служит известное положение химической термодинамики об отсутствии взаимодействия на поверхности раздела двух фаз в случае равенства концентрации диффундирующего компонента и концентрации насыщения. Шлаки такого состава обладают слабым агрессивным воздействием на футеровку печи и сохраняют достаточно высокие рафинирующие свойства.

Неотъемлемой частью современного сталеплавильного производства является выплавка стали под магнезиальными шлаками. Например, стойкость футеровки конвертеров на предприятиях США удалось довести до 30–35 тыс. плавов, на предприятиях Китая — до 15 тыс. плавов. За счет использования магнезиальных материалов в 50-т электропечи завода «Pacific Steel» продолжительность кампании футеровки печи возросла от 800 до 2614 плавов. При этом были отмечены увеличение срока службы не только кирпичной кладки, но и монолитной футеровки, а также сокращение расхода торкрет-масс. После проведения плавов под магнезиальными шлаками минимальный общий расход огнеупоров снизился с 3,59 до 2,25 кг/т. Такие высокие показатели повышения стойкости футеровки конвертеров и электродуговых печей достигнуты благодаря освоению технологии выплавки стали с использованием магнези-

альных материалов. Важнейшим достоинством этой технологии наряду со снижением износа магнезиальной футеровки является улучшение шлакового режима, так как оксиды магния ускоряют растворение извести, препятствуя образованию тугоплавкой корочки двухкальциевого силиката вокруг частиц извести, а также повышают активность растворенного оксида кальция, «оттягивая» на себя часть оксидов кремния.

Опыт применения флюсов в сталеразливочных ковшах — процесс мало изученный и не имеет широкого применения в России. Исходя из того, что для футеровки конвертеров и электродуговых печей зачастую используют периклазоуглеродистые огнеупоры того же физико-химического состава, что и в сталеразливочных ковшах, применение магнезиальных материалов (флюсов) позволит замедлить износ огнеупорной кладки. Для получения магнезиальных шлаков в отечественной и мировой практике при выплавке стали в качестве магнезиальных материалов чаще всего используют обожженный доломит и доломитизированную известь.

Скорость износа футеровки из периклазоуглеродистых огнеупоров прямо пропорциональна разнице концентраций диффундирующего компонента в твердой и жидкой фазах, т. е. зависит от содержания оксидов железа и магния в шлаке. Чем более насыщен шлак оксидами магния, тем меньше активность оксидов железа. Введение флюса позволяет практически подавить взаимодействие оксидов железа с периклазоуглеродистыми огнеупорами. При концентрации MgO в шлаке выше предела насыщения оксид магния начинает выделяться из шлака.

С другой стороны, чрезмерное насыщение шлака оксидами магния приводит к ослаблению реакционной способности шлака в отношении удаления серы и фосфора из металла вследствие возрастания вязкости шлака и его гетерогенности. При этом хуже усваиваются известь и другие

флюсующие добавки. Поэтому уменьшение активности железа в шлаке только добавками магний-содержащих материалов ухудшает технологические показатели плавки. Кроме того, растворение обожженного доломита в шлаке затруднено вследствие высокой температуры начала его плавления (1800 °С), а также образования тугоплавких составляющих силикатов кальция и магния.

В настоящее время разработан принципиально новый магнезиальный флюс — обожженный магнезиальноизвестковый марки ФОМИ, содержащий не менее 66 % MgO, 12–22 % CaO, 4–8 % Fe₂O₃, не более 5 % SiO₂ и не более 0,01 % S. Флюс ФОМИ получают обжигом сырьевых материалов сухим способом во вращающейся печи. Основным компонентом шихты является сырье, подготовленное для совместного обжига с магнезиально-железистой смесью. Комплексное использование этих материалов и экологически безопасная технология производства ФОМИ выводят этот флюс на новый уровень по сравнению с другой аналогичной продукцией. ФОМИ производится в виде гранул достаточно узкого фракционного состава — 75 % диаметром от 4 до 15 мм, в нем фактически отсутствуют мелкие зерна, что позволяет предотвратить пылевыведение при его применении. Фазовый состав ФОМИ, включающий 88–90 % периклаза, 3–6 % ферритов и 2–6 % силикатов, обеспечивает высокую скорость его растворения в шлаке.

Одна из особенностей производства гранул ФОМИ — образование при обжиге легкоплавких соединений, которые в процессе термического гранулирования блокируют свободный CaO, находящийся в центре гранулы. Это позволяет повысить устойчивость материала к воздействию влаги. Содержащийся в ФОМИ свободный CaO (до 22 %) уменьшает количество подаваемой в сталеплавильный агрегат извести.

В табл. 1 представлена средняя стойкость футеровки рядовых сталеразливочных ковшей, изготовленной из огнеупоров марки RI фирмы «ВПО Сталь». Доля огнеупоров этого поставщика для сталеразливочных ковшей в 2010 г. составила около 65 %. Из табл. 1 видно, что в июле – октябре 2010 г. произошло резкое уменьшение стойко-

сти футеровки сталеразливочных ковшей. Причиной этого было изменение технологии при выплавке полупродукта для рельсовых марок. Минимальное содержание углерода в полупродукте было уменьшено с 0,5 до 0,1 %. Основные причины остановки сталеразливочных ковшей на холодный ремонт: износ рабочего слоя футеровки стен под шлаковым поясом в фурменной зоне, общий износ шлакового пояса и износ шлакового пояса в фурменной зоне.

Уменьшение содержания углерода в металле привело к увеличению износа рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей и стало основной причиной снижения ее стойкости. Особенно обезуглероживание футеровки сталеразливочных ковшей наблюдалось в зонах движения металла, т. е. в фурменных зонах и на границе раздела металл – шлак. Недостаток углерода металл восполнял углеродом рабочего слоя футеровки, что повышало скорость износа кладки.

Первые испытания ФОМИ прошли в сентябре – октябре 2010 г. Для определения влияния флюса на стойкость рабочего слоя футеровки стен и шлакового пояса в опытный сталеразливочный ковш, изготовленный из рядовых огнеупоров марки RI фирмы «ВПО Сталь», в период выпуска металла из печи со шлакообразующей смесью присаживали ФОМИ. При плановом расчете расхода вводимого ФОМИ исходили из того, чтобы содержание MgO в шлаке составляло 9–11 %. Содержание извести в твердой шлакообразующей смеси (ТШС) уменьшали на количество введенного флюса. Расход ФОМИ при эксплуатации сталеразливочного ковша составлял 46–156 кг/плавку, средний расход ФОМИ на сталеразливочный ковш за кампанию 100,5 кг/плавку. Опытный сталеразливочный ковш был остановлен при стойкости 82 плавки. Присадка ФОМИ в сталеразливочный ковш со шлакообразующей смесью при выпуске металла из печи в количестве 100,5 кг/плавку привела к образованию защитного гарнисажа на поверхности стен и снижению износа шлакового пояса. После получения положительного результата перешли на массовое использование ФОМИ на всем сортаменте.

За период ноябрь 2010 г. – июнь 2011 г. закончили эксплуатацию 96 комплектов рядовых

Таблица 1. Стойкость футеровки сталеразливочных ковшей из огнеупоров RI фирмы «ВПО Сталь» в 2010 г. (январь – октябрь)

Показатели	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Средняя стойкость, плавки	83,1	85,7	87,3	85,5	82,6	86,5	75,3	74,7	77,7	75,9
Стойкость за период, плавки			85,2						75,7	
Число кампаний	8	3	9	4	8	11	12	10	6	8

огнеупоров марки RI фирмы «ВПО Сталь», в которых использовали ФОМИ. Средний расход флюса составил 110,5 кг/плавку, средняя стойкость 84,2 плавки, средняя стойкость футеровки сталеразливочных ковшей за период июль – октябрь 2010 г. (см. табл. 1) составила 75,7 плавки (36 комплектов). Увеличение средней стойкости футеровки при использовании ФОМИ составило 8,5 плавки (табл. 2).

Во всех остановленных на холодный ремонт сталеразливочных ковшах отмечено образование на поверхности рабочего слоя футеровки стен защитного гарнисажа. При наблюдении за опытными сталеразливочными ковшами установлено, что в тех случаях, когда по каким-либо причинам ФОМИ в сталеразливочный ковш не поступал, гарнисаж на его стенах отсутствовал. Таким образом, ФОМИ не образует стойкого гарнисажа, способного служить весь период эксплуатации сталеразливочного ковша. Формирование гарнисажа на поверхности стен требует постоянной присадки флюса на каждой плавке для поддержания защитного слоя. Освидетельствование сталеразливочных ковшей с применением ФОМИ выявило следующий характер износа футеровки:

- равномерный износ по всей поверхности рабочего слоя футеровки стен;
- отсутствие разгаров, трещин, снижения прометалливания;
- остаточная толщина рабочего слоя футеровки стен 90–110 мм;
- остаточная толщина футеровки шлакового пояса 70–90 мм.

Таким образом, при увеличении средней стойкости футеровки на 8,5 плавки сталеразливочные ковши не остановлены с остаточной толщиной менее 70 мм, т. е. применение ФОМИ снизило скорость износа огнеупоров в рабочем слое футеровки стен и шлакового пояса. Уменьшение скорости

износа футеровки в шлаковом поясе позволило сократить объем заменяемой кладки на горячем ремонте на 1 т (приблизительно на 2,5 ряда). Замену футеровки шлакового пояса начали производить в основном в зонах максимального износа (фурменная зона справа от кантователя). В сталеразливочных ковшах отмечено снижение проникновения металла в горизонтальные швы кладки.

В ходе испытаний исследовали состав шлака и гарнисажа. Оказалось, что присадка ФОМИ с ТШС в количестве 110,5 кг/плавку привела к изменению химического состава шлака. В табл. 3 представлен сравнительный анализ первичных шлаков на агрегате ковш-печь (АКП). Из табл. 3 видно, что содержание MgO в шлаке возросло на 5 %, FeO — на 0,5 %, содержание CaO сократилось на 0,7 %, SiO₂ — на 1,7 %. С введением флюса в состав ТШС произошло насыщение шлака оксидом магния, что снизило его взаимодействие с магниевой футеровкой сталеразливочного ковша. Изменение состава не сказалось на основных свойствах шлака, рафинирующие свойства остались на прежнем уровне. Увеличение содержания MgO загустило шлаки и сделало их менее жидкоподвижными.

Введение флюса привело не только к изменению физико-химического состава шлака, но и к образованию защитного гарнисажа на поверхности рабочего слоя футеровки стен. В результате наблюдения за состоянием футеровки было установлено, что образование гарнисажа происходит в период разлива металла на МНЛЗ, т. е. во время прямого контакта магниевой шлака с периклазоуглеродистой футеровкой стен сталеразливочного ковша. Огнеупорность гарнисажа составляет 1670 °С, что свидетельствует о том, что гарнисаж представляет собой совокупную среднеплавкую систему. Образование подобных соединений стало возможным благодаря увеличе-

Таблица 2. Стойкость футеровки сталеразливочных ковшей из огнеупоров RI фирмы «ВПО Сталь» за период ноябрь 2010 г. – июнь 2011 г.

Показатели	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Средняя стойкость, плавки	84,5	83,1	86,4	81,5	85,8	83,2	84,1	83,9
Стойкость за период, плавки	84,2							
Число кампаний	11	10	14	10	13	12	12	14
Расход ФОМИ, кг/плавку	101	109	112	116	117	110	111	108

Таблица 3. Химический состав шлака на АКП в разный период испытаний, %

Период	FeO	CaO	SiO ₂	MgO
Июль – октябрь 2010 г., без ФОМИ	1,92	53,56	21,56	7,60
Ноябрь 2010 г. – июнь 2011 г., с ФОМИ	2,37	52,80	19,85	12,68

нию содержания MgO в шлаке. Толщина гарнисажа 3–5 мм; по мере приближения к дну ковша она увеличивается. В табл. 4 представлен химический состав измененной (гарнисаж) и наименее измененной зон огнеупоров разных производителей после эксплуатации. Из табл. 4 следует:

– гарнисаж, образованный на стенах и шлаковом поясе из всех огнеупоров, представлен главным образом MgO, CaO и SiO₂;

– снижение содержания MgO в гарнисажном слое по сравнению с наименее измененной зоной составляет в среднем 16,5 % при среднем увеличении суммы CaO и SiO₂ на 18,1 %;

– в гарнисаже, образованном на шлаковом поясе из огнеупоров фирмы «Майертон», содержится двухкальциевый силикат 2CaO·SiO₂, что неизбежно может привести к осыпанию гарнисажа при охлаждении сталеразливочного ковша до 600 °С. Гарнисаж всех остальных огнеупоров имеет устойчивую форму, двухкальциевого силиката не выявлено. Таким образом, проведенный анализ состава гарнисажа показал, что он является продуктом взаимодействия шлака, обогащенного MgO, с огнеупорами.

Наблюдение за образованием гарнисажа показало, что его формирование на стенах сталеразливочного ковша на разном сортаменте стали не-

одинаково. При выплавке рельсовых марок стали Э76Ф, НЭ76Ф и других на стенах сталеразливочного ковша образуется гарнисаж толщиной 3–5 мм. При выплавке рядовых марок стали Ст3, Ст4 и других образуется гарнисаж меньшей толщины (1–2 мм). Для изучения влияния сортамента выплавляемых сталей на формирование гарнисажа исследовали химический состав и основность шлаков на АКП (табл. 5). Из табл. 5 видно, что содержание MgO в конечных шлаках при выплавке рельсовых марок стали на 1,5–2,3 % больше, чем при выплавке рядовых. Несмотря на большее содержание MgO в шлаках рельсового сортамента определяющими факторами образования гарнисажа являются температура разливки металла на МНЛЗ и скорость разливки. Установлено, что при разливке рядовых марок стали гарнисаж образуется на стенах в меньшей степени. Температура разливки рядовых марок стали составляет 1605–1612 °С, длительность разливки 55–60 мин. При разливке металла рельсовых марок температура разливки составляет 1535–1539 °С, длительность разливки 70 мин. Из этого следует, что формирование гарнисажа лучше происходит при более низких температурах и меньшей скорости разливки. В этих условиях магнезиальные шлаки лучше взаимодействуют с фу-

Таблица 4. Химический состав измененной и наименее измененной зон огнеупоров различных марок после эксплуатации, %

Участок отбора проб	Измененная зона (гарнисаж)					Наименее измененная зона				
	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
<i>Огнеупоры RI («ВПО Сталь»)</i>										
Стены	60,0	14,0	10,0	3,0	1,5	83,0	1,6	0,3	1,0	0,8
	53,0	17,0	16,0	1,0	1,0	82,0	1,9	1,2	0,9	0,7
ШП*	64,0	11,0	5,8	1,0	5,6	81,0	1,4	1,9	0,9	5,1
Стены	65,0	10,0	7,0	1,4	4,0	84,5	1,3	2,0	1,0	2,0
	68,0	10,4	5,7	1,4	3,0	81,0	1,0	1,3	0,7	3,7
ШП*	69,0	9,0	6,6	1,0	4,7	84,0	1,3	1,8	1,0	2,2
Стены	56,0	13,0	13,0	0,7	0,5	87,0	1,0	0,5	0,7	0,5
<i>Огнеупоры Dalscar (Группа «Магнезит»)</i>										
Стены	59,0	13,0	10,0	1,0	3,0	87,0	1,0	1,0	1,0	0,5
<i>Огнеупоры ВМС (ТД БКО)</i>										
Стены	57,5	14,0	15,0	1,2	3,0	86,5	1,5	2,5	1,0	0,1
<i>Огнеупоры Маусcarb («Майертон»)</i>										
Стены	70,0	7,0	5,0	1,2	1,2	83,0	1,4	0,8	0,9	0,8
ШП*	75,0	5,0	2,5	1,0	1,2	80,0	1,3	1,0	1,4	0,8
<i>Огнеупоры DSA («Dufenco»)</i>										
Стены	59,0	13,0	8,0	1,0	5,0	84,0	1,0	1,0	0,8	3,0
	66,0	9,5	8,5	1,0	2,0	87,0	1,5	1,0	0,8	0,6

* Шлаковый пояс.

Таблица 5. Характеристика шлаков на АКП в зависимости от сортамента выплавляемых сталей

Показатели	Марка стали					
	Ст3	Э76Ф	09Г2С	НЭ76Ф	Ш2	28С
<i>Проба № 1</i>						
Массовая доля, %:						
CaO	48,3	52,6	43,6	52,1	48,2	46,6
SiO ₂	21,3	20,8	20,1	20,7	23,2	23,8
MgO	13,0	15,1	15,1	16,1	13,3	15,9
Основность	2,32	2,56	2,16	2,53	2,10	1,97
<i>Проба № 2</i>						
Массовая доля, %:						
CaO	50,5	53,6	47,5	53,6	48,9	48,5
SiO ₂	21,2	21,5	19,1	21,8	23,0	23,2
MgO	12,5	14,9	15,7	16,4	13,3	14,6
Основность	2,41	2,49	2,50	2,47	2,14	2,10
<i>Проба № 3</i>						
Массовая доля, %:						
CaO	53,0	54,0	49,9	54,3	52,5	52,1
SiO ₂	23,4	22,3	22,8	22,4	23,1	23,5
MgO	11,1	13,4	11,7	13,4	11,7	11,9
Основность	2,27	2,43	2,19	2,43	2,27	2,22

теровой сталеразливочного ковша и образуют более толстый слой гарнисажа на поверхности рабочего слоя футеровки.

Экономический эффект от применения ФОМИ в сталеразливочных ковшах складывается из трех составляющих: увеличения стойкости, снижения расхода огнеупоров при проведении горячего ремонта, экономии извести в ТШС. Расходной частью применения флюса является то, что стоимость ФОМИ в 2 раза выше стоимости заменяемой извести. Экономический эффект от применения ФОМИ в 130-т сталеразливочных ковшах в условиях ЭСПЦ составил 18,61 руб./т стали.

Библиографический список

1. **Оржех, М. Б.** Повышение эффективности эксплуатации электросталеплавильных печей при использовании магнезиального флюса / М. Б. Оржех, Б. Б. Либа-

нов, М. А. Чашкин [и др.] // Черная металлургия. — 2009. — № 10. — С. 55, 56.

2. **Демидов, К. Н.** Использование ожезненного известково-магнезиального флюса в конвертерной плавке / К. Н. Демидов, С. М. Чумаков, С. Д. Зинченко [и др.] // Сталь. — 2000. — № 11. — С. 46–48.

3. Отработка технологии выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах с использованием магнезиальных флюсов производства ОАО «Комбинат «Магнезит»: отчет о НИР / ОАО «Уральский институт металлов»; рук. А. А. Бабенко, С. А. Спирин; исполн.: Л. М. Аксельрод [и др.]. — Екатеринбург, 2007.

4. Отработка технологии выплавки стали в ДСП под шлаками с повышенным содержанием MgO: отчет о НИР / ОАО «Уральский институт металлов»; Кузнецов Е. П., Дмитриенко В. И. — Екатеринбург. ■

Получено 19.10.12

© К. В. Волков, Е. П. Кузнецов, Н. С. Анашкин, О. В. Долгих, С. Н. Смирнов, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



RIO 2013
CARBON

14-19 JUL, 2013
COPACABANA, RIO DE JANEIRO, BRAZIL

Первая всемирная конференция по углероду (CARBON RIO 2013)
14-19 июля 2013 г.
г. Рио-де-Жанейро, Бразилия