

**К 90-ЛЕТИЮ
АО «УРАЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛОВ»**

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И МАТЕРИАЛЫ
В МЕТАЛЛУРГИИ**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНОГО ФЛЮСА «ФЛЮМАГ» ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ

К.Н. Демидов², А.П. Возчиков², Л.А. Смирнов¹, Т.В. Борисова²,
В.И. Носенко², А.Н. Филатов²

¹АО «Уральский институт металлов»,
²ООО «Русское горно-химическое общество»

При производстве стали существенной статьей издержек являются затраты на эксплуатацию и ремонт футеровки сталеплавильных агрегатов, снижение которых достигается при увеличении срока службы огнеупорных футеровок.

Известно [1, 2], что агрессивность конвертерного шлака по отношению к магнезиальной футеровке по ходу плавки более высокая в начале продувки кислородом, уменьшается в течение периода обезуглероживания расплава и вновь повышается к концу продувки, вследствие увеличения растворимости MgO в железистом шлаке.

Расчеты материального и теплового балансов конвертерной плавки с определением изменения массы и состава шлака по содержанию (MgO), (FeO) и основности показали необходимость формирования стойкого гарнисажа на футеровке. Выполнен расчет предела растворимости (MgO)_р в шлаках, формируемых по ходу продувки, с применением методики и программы расчета для металлургических шлаков системы CaO–MgO–MnO–SiO₂–Al₂O₃–Fe₂O₃ [3]. В основе методики лежит равенство активности компонента шлака с активностью чистого твердого оксида (табл. 1).

Предел растворимости оксида магния (MgO)_р в шлаке, формируемом по ходу продувки плавки, показывает максимальный показатель в начальный период продувки, затем снижается в середине плавки и повышается к концу продувки кислородом (табл. 1). Поэтому высокомагнезиальные флюсы необходимо вводить в завалку конвертера, а также перед выпуском металла или после выпуска металла в период нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера.

В мировой практике в качестве шлакообразующих магнезиальных флюсов используют природные материалы: обожженный доломит или доломитизированную известь [4]. Учитывая недостатки, присущие использованию обожженного доломита или доломитизированной извести, разработаны, освоены и внедрены в производство комплексные высокомагнезиальные флюсы с высоким содержанием

Таблица 1

Расчетные значения состава и массы шлака, а также предела растворимости (MgO)_р в шлаке, формируемом по ходу продувки в зависимости от количества шлака в конвертере (числитель – конвертер емкостью – 160 т, знаменатель – 350 т)

Период продувки плавки, %	Масса шлака, т	Температура металла, °С	В, ед.	(FeO) _{общ} , %	(MgO) _{мб} , %	(MgO) _р , %
20	5,3	1320	1,2	22,6	4,8	13,2
24	19,4	1250	1,6	30,0	6,6	11,5
н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
36	26,8	1350	1,9	18,0	5,7	8,1
61	14,0	1500	3,0	14,0	6,5	4,2
65	27,1	1420	2,2	13,0	5,8	5,2
88	16,6	1590	3,4	15,4	7,0	6,4
88	31,2	1500	2,4	16,0	5,2	5,5
100	18,4	1648	3,6	17,0	7,0	8,3
100	35,0	1617	2,5	20,5	4,9	9,1

(MgO)_{мб}* – содержание оксида магния в шлаке по расчету материального баланса
(MgO)_р** – предел растворимости оксида магния, %

оксидов магния и низким содержанием оксидов кальция: флюс оже-
лезненный магнезиальный (ФОМ); флюс оже-
лезненный магнезиальный известьсодержащий (ФОМИ); флюс магнезиальный, содержащий
углерод и оксиды железа (ФМБУЖ); флюс магнезиально-глиноземистый (МГФ), самораспадающиеся магнезиальные гранулы (СМГ).

Флюсы ФОМ и ФОМИ изготавливаются, соответственно, методом обжига (t_{обж} = 1300–1500 °С) сырого магнезита Mg(CO₃) и спеканием с исходными материалами (железная руда и доломит для ФОМИ) во вращающихся печах. Флюсы ФМБУЖ и МГФ изготавливаются методом брикетирования, а СМГ – методом окатывания в тарельчатых грануляторах и брикетированием. Основным компо-

нентом флюсов являлся магнезит, обожженный для флюсов ФОМ, ФОМИ, ФМБУЖ и МГФ, или сырой для СМГ [5–14]. Химический состав и физические свойства флюсов представлены в табл. 2.

Таблица 2
Химический состав и физические свойства высокомагнезиальных флюсов

Показатели	ФОМ	ФОМИ	ФМБУЖ	МГФ-1	СМГ-10С
Содержание мас. %:					
MgO	85–92	66–76	75–82	70–76	50–60
CaO	4–6	12–22	2,5–5,0	2,8–4,0	1,0–2,5
Fe ₂ O ₃	4–8	4–8	5–6	4–8	–
Al ₂ O ₃	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	5–7	–
SiO ₂	1,5–3,5	1,5–3,5	1,5–4,0	1,7–3,8	0,8–1,5
C	–	–	6–8	–	8–10
потери массы при прокаливании	<1	<1	<3,5	<3	25–40
Плотность кажущаяся, г/см ³	2,2–2,6	2,2–2,6	2,0–2,5	2,0–2,3	2,3–2,8
Пористость открытая, %	15–30	15–30	10–20	9–15	11–21

Использование этих флюсов в течение длительного периода в конвертерах и электропечах металлургических предприятий России, Украины, Казахстана позволили увеличить срок службы футеровки конвертеров в среднем в 2,3 раза (с 2244 до 5279 плавов), а электропечей в 1,8 раза (с 600 до 1100 плавов). Соответственно расход огнеупоров снизился в среднем с 1,83 до 0,6 кг/стали [15–18].

Недостатком применения флюсов с магнезитовой составляющей является их относительно высокая стоимость за счет затрат на обжиг магнезита, брикетирование и грануляцию.

Поэтому актуальным является изыскание альтернативного более дешевого высокомагнезиального флюса, обеспечивающего требуемый уровень стойкости футеровки сталеплавильных агрегатов. В результате выполненных исследований был разработан высокомагнезиальный флюс «Флюмаг», в основу которого входит природный материал брусит Mg(OH)₂ [19, 20]. Новый флюс изготавливается из бруситовой руды крупнейшего Кульдурского месторождения и содержит (мас. %): 58–65 MgO; 2–5 CaO; 1–6 SiO₂; 0,1–0,5 Fe₂O₃; <0,03 S и P; 25–35 п.п.п. Запасы его более 8 млн. т., ежегодная добыча – 350 тыс т рудной массы. На предприятии ООО «Кульдурская Горная Компания» проведена реконструкция и введен в работу современный дробильно-сортировочный комплекс, оснащенный инноваци-

онными рентгенорадиометрическими сепараторами, что позволяет отбирать руду с высоким содержанием оксида магния (до 67 %) и низким содержанием пустой породы.

Высокомагнезиальный флюс марки «Флюмаг» используется для повышения содержания оксида магния в первичных сталеплавильных шлаках и формирования износостойкого шлакового гарнисажа на футеровке сталеплавильного агрегата и, тем самым, снижения затрат на огнеупорные материалы в период эксплуатации конвертеров и электропечей. Присадка быстрорастворимого высокомагнезиального флюса «Флюмаг» в завалку конвертера уже на первых минутах плавки приводит к образованию магнезиального шлака за счет взаимодействия флюса с заливаемым чугуном и доменным (миксерным) шлаком, что будет способствовать снижению агрессивного воздействия шлака на шлаковый гарнисаж.

В условиях малого времени, отведенного в конвертерах на раздув шлака азотом, 3–5 мин., фактор скорости растворения магнезиальных материалов в железистых шлаках является важным для придания конечному шлаку требуемой вязкости при насыщении шлака тугоплавкими фазами MgO·FeO и MgO·Fe₂O₃ ($t_{\text{пл}} \geq 1750$ °C), способствующими формированию износостойкого шлакового гарнисажа на футеровке конвертера.

Основной минеральной составляющей флюса «Флюмаг» является природный гидроксид магния Mg(OH)₂, дегидратация которого согласно термографическим исследованиям происходит в пределах пониженных температур 350–500 °C с образованием ультрадисперсного MgO, в сравнении, например, с температурой разложения магнезита, которая происходит в интервале температур 550–720 °C (рис. 1 и 2).

Эндотермический эффект дегидратации брусита в сталеплавильном агрегате ниже, чем декарбонизации магнезита вне сталеплавильного агрегата (соответственно 606,6 кДж/кг и 707,2 кДж/кг). При температурах 800–1000 °C флюс «Флюмаг» превращается в кальцинированный периклаз, который способствует упрочнению шлакового гарнисажа, наносимого на футеровку сталеплавильного агрегата.

При выплавке стали в 160-т конвертерах из чугуна с содержанием 0,50 % [Si] и 0,08 % [P] с долей металлолома в металлошихте ~20 %, на обычных плавках по ходу продувки кислородом использовался обожженный доломит в количестве 20–30 кг/т стали, а на опытных плавках в завалку на дно конвертера присаживали флюс «Флюмаг» в количестве 3–6 кг/т стали для подваривания днища и внесения

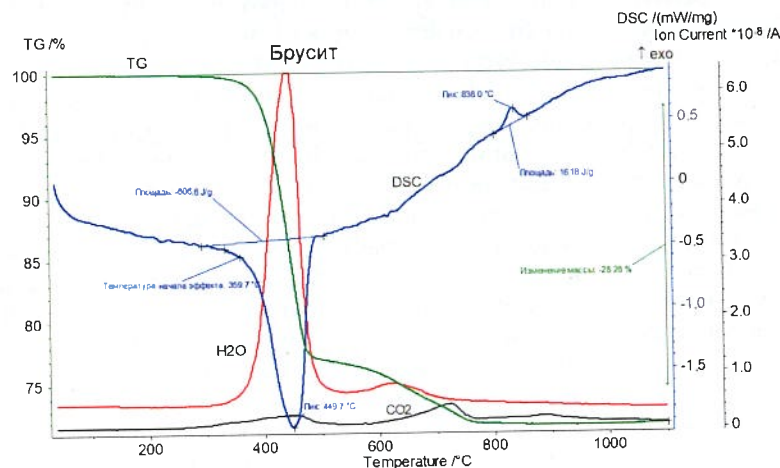


Рис. 1. Термограмма флюса «Флюмаг»

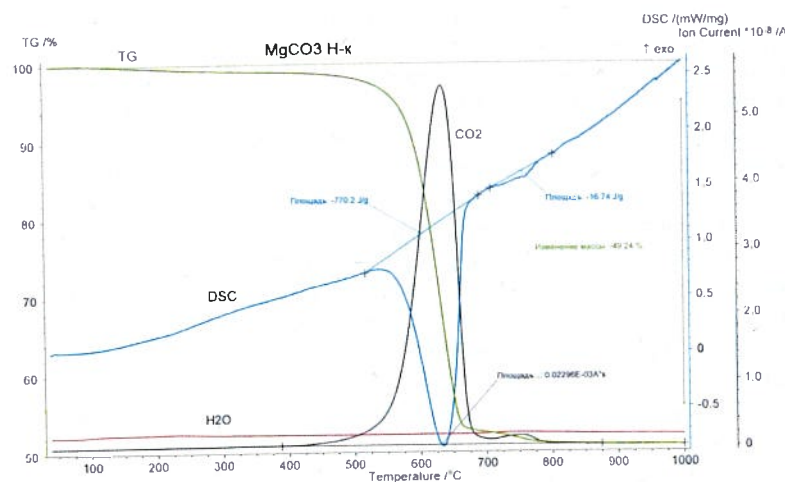


Рис. 2. Термограмма магнезита

оксида магния в шлак, при этом расход обожженного доломита снижали на 5–7 кг/т стали. При введении высокомагнезиальных шлакообразующих материалов в начале продувки требуется соблюдение условий теплового состояния, в противном случае присадка обожженного доломита, учитывая низкую скорость его растворения, может привести к увеличению выбросов шлакометаллической эмульсии из конвертера. В этом отношении использование флюса «Флюмаг» более предпочтительно. Исследованиями установлено также, что присадка флюса «Флюмаг» в завалку конвертера не приводит к повышению на первых минутах продувки металла кислородом содержания водорода в отходящих газах (находится в пределах 1–5 %) и соответствует уровню сравнительных плавов.

При нанесении шлакового гарнисажа отработывали эффективный режим присадки флюса «Флюмаг». Его расход определялся жидкоподвижностью шлака и его температурой перед раздувом азотом. Отмечен прирост содержания MgO в раздуваемом шлаке после присадки флюса в период нанесения шлакового гарнисажа, но при отсутствии роста содержания (CaO) и ($Fe_{общ}$). При присадке 3 кг/т флюса «Флюмаг» содержание MgO в пробах шлака, отобранных перед выпуском металла из конвертера и после нанесения шлакового гарнисажа, увеличилось на 1,8 % без изменения содержания ($Fe_{общ}$) и основности шлака. При переделе чугуна с повышенным содержанием фосфора ($[P]_ч > 0,10 \%$) отмечено увеличение количества додувок металла, что привело к повышению расхода флюса «Флюмаг» в 1,5–2 раза, как в процессе нанесения шлакового гарнисажа, так и для снижения износа днища.

В зависимости от выплавляемой марки стали при доле металлолома в металлошихте ~16 % и содержании в чугуне 0,40 % Si и 0,05 % P присаживали 6–7 кг/т «Флюмаг» на лом перед заливкой чугуна. Для загущения шлака, в процессе нанесения гарнисажа флюс применяли дискретно в зависимости от его жидкоподвижности и температуры по 2–4 кг/т стали. На сравнительных плавках в завалку присаживали известковомагнезиальный железистый флюс «ФИМЖ», содержащий до 35 % MgO. Средний расход магнезиальных флюсов в опытный и сравнительный периоды плавов был сопоставим (8 кг/т стали). Среднее содержание MgO в шлаке на плавках с флюсом «Флюмаг» было выше (5,9%) по сравнению с флюсом «ФИМЖ» 5,5 %.

Отмечено, что, несмотря на меньшую долю плавов с нанесением шлакового гарнисажа на футеровку в опытный период, качество формируемого гарнисажа, оцененное сканированием остаточной толщи-

ны в зонах локального износа футеровки конвертера при применении высокомагнезильного флюса «Флюмаг», было выше, (табл. 3).

Таблица 3
Толщина футеровки конвертера в опытный и сравнительный периоды работы с флюсами «Флюмаг» и ФИМЖ

Показатели	Сравнительный период		Опытный период	
	стойкость 2741 пл	стойкость 2876 пл	стойкость 2876 пл	стойкость 3065 пл
Толщина футеровки по результатам сканирования в местах локального износа на уровне цапф (высота 4–5 мм), мм:				
0°	500	400–500	400–500	500
90°	300	Н.д.	Н.д.	300
120°	300–400	300–400	300–400	400
180°	400–500	500	500	500–600
240°	300–400	300	300	400–500
270°	300	300–400	300–400	300–400
Доля плавов с нанесением шлакового гарнисажа на футеровку, %	74,8		67,2	

При выплавке стали в 350-т конвертерах при высокой доле металлолома в металлошихте (~ 25 %) и содержании в чугуне 0,50 % Si и 0,08 % P на сравнительных плавках в период нанесения шлакового гарнисажа присаживали кокс и сырой доломит, расход которых был в 1,5 раза выше, чем на опытных плавках. В опытный период работы в условиях дефицита ожеженного магнезильного флюса ФОМ, содержащего 85–90 % MgO и 4–6 % Fe₂O₃, присаживаемого по ходу продувки плавки, проводили присадку флюса «Флюмаг» в завалку перед заливкой чугуна.

Основные конечные шлаки, содержащие менее 8 % MgO, при введении доломита или извести для загущения шлака в процессе раздува азотом не обеспечивают формирования износостойчивого гарнисажа. Они на 90 % находятся в области насыщения CaO и характеризуются высоким содержанием низкотемпературных фаз – ферритов кальция CaO·Fe₂O₃ и 2CaO·Fe₂O₃ с температурой плавления 1215 °C и 1440 °C соответственно. В результате формируемый гарнисажный слой обладает низкой эрозионной устойчивостью и практически не защищает футеровку.

Применение высокомагнезильного флюса «Флюмаг» позволяет сформировать стойкое гарнисажное покрытие на футеровке конвертера, состоящее из высокотемпературных фаз периклаза, магнезиоферрита и магнезиовюстита, температура плавления которых составляет более 1750 °C, с одновременным снижением легкоплавких ферритнокальциевых фаз в конечном шлаке.

Анализ опытного (с «Флюмаг») и сравнительного (без «Флюмаг») периодов плавов представлен в табл. 4. Соотношение внесенной материалами массы оксида магния к массе оксида кальция по ходу плавки (m_{MgO}/m_{CaO}) находится в диапазоне 0,20–0,23, обеспечивая содержание MgO в шлаке опытных плавов 9,9–11,1 % в сравнительных плавках содержание MgO составило 10,0–10,2 % MgO при соотношении (m_{MgO}/m_{CaO})=0,21–0,22. Соотношение (m^r_{MgO}/m^r_{CaO}) для формирования шлакового гарнисажа возрастает до 1,19–1,29 ед. на опытных плавках против 0,78 ед. на сравнительных, что позволяет повысить стойкость гарнисажа при работе с высокомагнезильным флюсом «Флюмаг».

Таблица 4
Содержание MgO и основность шлака на плавках опытного (с «Флюмаг») и сравнительного (без «Флюмаг») периодов

Параметры	Плавки опытного периода	Плавки срав- нительного периода	Плавки с «Флюмаг» в завалку	Плавки с ФОМ
Содержание в шлаке MgO, %	11,1	10,0	9,9	10,2
Основность шлака	3,33	3,55	3,25	3,48
Внесено шлакообразующими материалами на плавку:				
m_{MgO} , т	4,33	3,96	3,62	4,02
m_{CaO} , т	18,47	18,99	18,07	18,62
Соотношение (m_{MgO}/m_{CaO})	0,23	0,21	0,20	0,22
Внесено материалами для формирования шлакового гарнисажа:				
m^r_{MgO} , т	0,55	0,27	0,45	0,26
m^r_{CaO} , т	0,43	0,35	0,38	0,34
Соотношение (m^r_{MgO}/m^r_{CaO})	1,29	0,78	1,19	0,78

С целью определения усвоения оксида магния из флюса «Флюмаг» проведен отбор проб шлака до присадки флюса (проба 1 – шлак после основной продувки металла кислородом) и после присадки флюса (проба 2 – шлак в процессе выпуска металла из конвертера). Присадку «Флюмаг» в количестве 2 кг/т стали проводили после додувки металла кислородом (на температуру и фосфор) перед выпуском металла из конвертера (табл. 5).

Таблица 5

Изменение состава шлака после додувки металла и присадки «Флюмаг»

№ пробы	Массовая доля компонентов, %						
	CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
№ 1	47,5	10,8	27,1	8,6	3,9	1,69	1,52
№ 2	45,0	9,4	29,5	10,7	3,5	1,50	1,43

Таким образом, использование высокомагнезиального флюса «Флюмаг» в большегрузных конвертерах в завалку на металлолом привело к достижению требуемой концентрации оксидов магния в первичных конвертерных шлаках, а в период раздува шлакового расплава к получению на футеровке прочного гарнисажного покрытия, что позволило повысить стойкость футеровки конвертеров. При применении флюса «Флюмаг» в 350-т конвертерах стойкость футеровки увеличилась на 20 % [21–23].

Одним из направлений улучшения технико-экономических показателей выплавки стали в ДСП является повышение стойкости их футеровки за счет перехода на работу со шлаками, содержащими оксид магния вблизи области насыщения. Публикации по этой теме свидетельствуют о перспективности применения магнезиальных шлакообразующих материалов в электроплавке. В частности, в работе [24] отмечается, что за счет перехода 50-т ДСП на работу со шлаками с повышенным содержанием MgO продолжительность кампании увеличилась с 800 до 2614 плавов. Достижение полной совместимости магнезиальных шлаков с магнезиальными огнеупорами и стабилизация процесса вспенивания шлака, приводящая к снижению теплового воздействия электрических дуг на футеровку, является решающим фактором применения в ДСП магнезиальных шлакообразующих флюсов.

На рис. 3 представлена зависимость эффективности теплопередачи энергии дуги ванне от режима горения дуги [25]. При полном экранировании шлаком дуги ванне передается 93–100 % энергии.

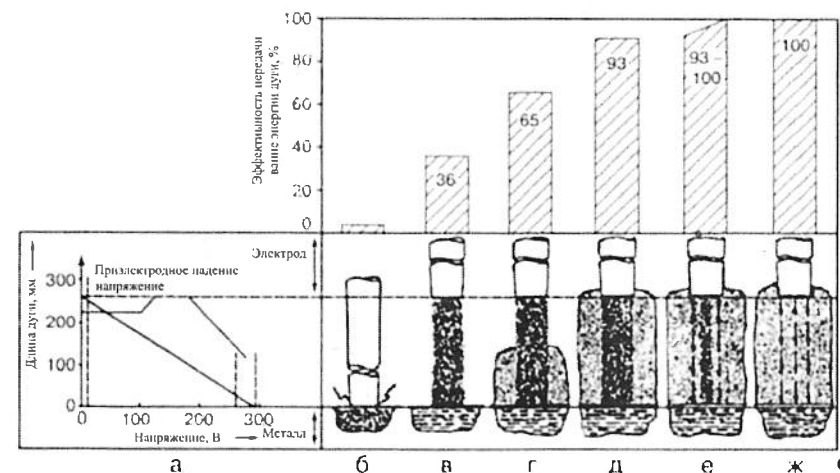


Рис. 3. Эффективность передачи энергии дуги ванне при разных режимах горения дуги [25]:

а – распределение напряжения по длине дуги; б – режим короткого замыкания; в – свободно горящая дуга; г – дуга наполовину экранирована шлаком; д – дуга полностью экранирована шлаком; е – сочетание дугового режима и режима сопротивления при полном экранировании дуги шлаком; ж – нагрев шлака и металла только методом сопротивления

Известно, что шлаковая пена представляет собой многофазную систему, в состав которой обязательно входят жидкий оксидный расплав, большое количество мелких газовых пузырей и очень мелкие кусочки не растворившихся кусочков извести и магнезиальных добавок. Способность шлака удерживать вспенивающий газ CO, образующийся в результате реакции вдуваемого углерода с оксидами железа шлака, определяется индексом вспенивания Σ по эмпирической формуле:

$$\Sigma = \frac{\eta \cdot n}{\tau \cdot D},$$

где

η – вязкость шлака; n – количество образующихся пузырей; τ – скорость прохождения пузырей через слой шлака; D – диаметр образующихся пузырей.

На рис. 4 представлены варианты вспенивания шлака в зависимости от присадок в ДСП различных магнезиальных флюсов.

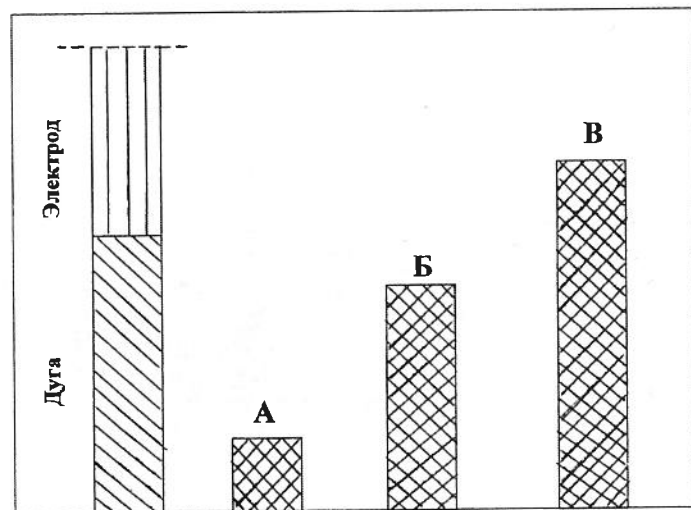


Рис. 4. Вспениваемость шлаков в ДСП при использовании различных магнезиальных флюсов:

А – незащищенная шлаком дуга; Б – дуга частично экранирована вспененным шлаком, присадка спеченных магнезиальных материалов; В – дуга полностью экранирована шлаком, присадка природных магнезиальных материалов, содержащих 30–50 % потерь при прокаливании

Вариант А – была произведена оценка влияния на вспениваемость шлака в ДСП при использовании различных магнезиальных флюсов, в т.ч. флюса «Флюмаг» без вдувания в печь углерода и без использования магнезиальных материалов. В этом случае электрическая дуга не защищена шлаком. Низкая эффективность передачи тепловой энергии металлической ванны, которая составляет 30–35 %. Увеличивается расход электроэнергии и продолжительность плавки, значительный износ футеровки.

Вариант Б – применение обожженного доломита и флюса оже-лезненного магнезиально-известкового (ФОМИ), содержащего 65–68 % MgO и 18–24 % CaO , изготовленного путем спекания во вращающейся печи природных доломита и магнезита. Дуга частично экранирована вспененным шлаком. Эффективность передачи тепловой энергии металлу составляет 55–65 %. Вспениваемость шлака достигается в основном за счет окисления углерода, вдуваемого в ванну, оксидами железа шлака. Влияние магнезиальных флюсов незначительно, вследствие повышенного содержания в них оксидов

кальция (18–50 %), приводящих к образованию «коротких» шлаков, а так же значительного расхода тепловой энергии на растворение «спеченных» магнезиальных материалов.

Вариант В – Присадка в печь флюса «Флюмаг». Дуга полностью экранирована шлаком. Высокая эффективность передачи энергии металлу 80–90 % достигается за счет высокой вспениваемости шлака, как в результате окисления углерода, так и за счет дегидратации флюса «Флюмаг» с выделением H_2O .

Предварительные опытные плавки в 150-т ДСП с применением высокомагнезиальных флюсов «Флюмаг» и ФОМИ показали (табл. 6), что в сопоставимых условиях выплавки стали при одинаковом расходе извести 40–45 кг/т стали, при меньшем расходе флюса «Флюмаг» на 1,2 кг/т стали содержание оксида магния в конечных шлаках оказалось ниже на 1,7–2,2 % и выше на 0,6 % на плавках с расходом извести > 55 кг/т стали. На опытных плавках расход углеродсодержащих материалов был несколько ниже. Расход электроэнергии оказался значительно ниже, чем с применением ФОМИ на плавках с расходом извести 40 кг/т стали и более 55 кг/т стали. Применение флюса Флюмаг обеспечило требуемый уровень вспенивания и формирования шлакового гарнисажа на футеровке ДСП [26].

Таблица 6
Показатели опытных (с «Флюмаг») и сравнительных (с ФОМИ) плавов в ДСП-150 при одинаковом расходе извести

Показатели	Расход извести 40 кг/т		Расход извести 45 кг/т		Расход извести 50 кг/т		Расход извести > 55 кг/т	
	Флюмаг	ФОМИ	Флюмаг	ФОМИ	Флюмаг	ФОМИ	Флюмаг	ФОМИ
Расход электроэнергии, кВт·ч/т	388	405	398	403	401	404	426	455
Расход флюса, кг/т стали	6,3	7,5	6,8	8,0	6,6	7,2	6,4	7,6
Расход углеродсодержащих материалов, кг/т стали	11,1	11,7	11,5	11,7	11,2	11,8	12,0	12,0
Температура металла, °С	1631	1649	1643	1649	1636	1663	1635	1658
Содержание в шлаке (MgO), %	5,6	7,8	5,3	7,0	н.д.	7,3	6,8	6,2

Учитывая, что разложение флюса «Флюмаг» происходит с выделением H_2O , с целью определения содержания водорода в стали были проведены испытания при выпуске стали из ДСП в 60-т ковш с введением различного количества флюса «Флюмаг» при наполнении ковша металлом на 1/6–1/5 его высоты (табл. 7).

Таблица 7
Изменение содержания водорода в стали с применением флюса «Флюмаг» в 60-т сталеразливочный ковш

№ п/п	Марка стали	Расход «Флюмаг», кг/т	Содержание водорода в стали, ppm	
			до присадки флюса	после присадки флюса
1	35 Л	0,55	2,9	3,9
2	35 Л	0,76	Н.д.	2,9
3	25 Л	1,01	3,6	3,3
4	35 Л	1,11	3,5	Н.д.
5	25 Л	1,06	4,0	3,5
6	45	1,01	Н.д.	3,5
Среднее значение		0,92	3,5	3,4

Полученные результаты свидетельствуют, что содержание водорода в стали не увеличивается в результате присадки флюса «Флюмаг» в сталеразливочный ковш. При разложении брусита при температуре более 500 °С по реакции $Mg(OH)_2 = MgO + H_2O$ выделяется периклаз который с ковшевым шлаком на стенках ковша образует тугоплавкий шлаковый гарнисаж и пары воды, не успевающие разложиться на кислород и водород и быстро удаляющиеся в атмосферу.

Закключение

При выплавке стали в кислородных конвертерах и электропечах проведены исследования по применению высокомагнезильного флюса «Флюмаг» на основе природного материала брусита $Mg(OH)_2$. Установлено, что за счет быстрого растворения флюса «Флюмаг» достигается повышенное содержание в шлаковом расплаве оксидов магния, оказывающее положительное влияние на формирование шлакового гарнисажного покрытия футеровки кислородных конвертеров и электропечей, в результате чего на 20 % увеличивается стойкость огнеупоров. Использование флюса «Флюмаг» в ДСП позволяет также улучшить условия вспенивания шлакового расплава и снизить расход электроэнергии.

Библиографический список

1. Демидов К.Н., Чумаков С.М., Зинченко С.Д. и др. Использование ожезженно-ного известково-магнезильного флюса в конвертерной плавке // Сталь. 2000. № 11. С. 46–48.
2. Lamuhin A., Zinchenko S., Holzhey W., Kasakov S., Samsonov M., Demidov K. The new approach to use of MgO materials for optimization of a slag mode in the LD-converter. // La Revue de Métallurgie. Paris. 11–12 décembre. 2002. p. 104–105.
3. Демидов К.Н., Климов А.В., Борисова Т.В. Оценка растворимости MgO в шлаке по ходу продувки конвертерной плавки // Сталь. 2010. № 10. С. 19–21.
4. Демидов К.Н., Смирнов Л.А., Борисова Т.В., Кузнецов С.И. Выплавка стали с применением флюса с повышенным содержанием оксидов железа и магния // Труды научно-технической конференции «Уральская индустрия в первом десятилетии XXI века». Стратегия развития Челябинской области до 2010 года: Информационный бюллетень ч. 2. Второй экономический форум, 25–27 апреля 2001 г. Челябинск. С. 96–97.
5. Смирнов Л.А., Демидов К.Н., Кузнецов С.И., Борисова Т.В., Возчиков А.П. Новые флюсы для конвертерного производства // Конвертерное производство стали: Сб. науч. тр. / УрО РАН. Екатеринбург. 2003. С. 227–236.
6. Демидов К.Н., Ламухин А.М., Шатилов О.Ф. и др. Использование высокомагнезильных материалов в конвертерной плавке // Сталь. 2004. № 2. С. 12–16.
7. Демидов К.Н., Ламухин А.М., Шатилов О.Ф. и др. Выплавка стали в конвертерах с использованием флюсов с высоким содержанием оксидов магния // Труды восьмого Конгресса сталеплавильщиков. М. Черметинформация. 2005. С. 119–133.
8. Демидов К.Н., Смирнов Л.А., Кузнецов С.И. и др. Использование MgO -содержащих флюсов при выплавке стали в конвертерах // Сталь. 2007. № 4. С. 22–25.
9. Патент РФ № 2145357. Известково-магнезильный флюс / Демидов К.Н., Чумаков С.М., Смирнов Л.А. и др. / Заявка на изобретение № 99101601/02. Заявл. 27.01.1999 г., опубл. 10.02.2000 г.
10. Демидов К.Н., Смирнов Л.А., Возчиков А.П. и др. Комплексные синтетические магнезильные флюсы для улучшения конвертерного процесса // Сталь. 2010. № 5. С. 45–47.
11. Патент РФ № 2254378. Способ выплавки стали в конвертере // Бодяев Ю.А., Корнеев В.М., Дьяченко В.Ф. и др. // Заявка на изобретение № 2004102335/02. Заявл. 27.01.2004, опубл. 20.06.2005.
12. Патент РФ № 2294379. Способ нанесения гарнисажа на футеровку конвертера // Демидов К.Н., Смирнов Л.А., Кузнецов С.И. и др. // Заявка на изобретение № 200513093/02. Заявл. 05.10.2005 г., опубл. 27.02.2007 г.
13. Патент РФ № 2299913. Сталеплавильный флюс (варианты). // Демидов К.Н., Борисова Т.В., Смирнов Л.А. и др. // Заявка на изобретение № 2005110735/02. Заявл. 12.04.2005 г., опубл. 20.10.2006 г.
14. Патент РФ № 2374327. Сталеплавильный флюс и способ его получения (варианты) // Демидов К.Н., Аксельрод Л.М., Терентьев А.Е. и др. // Заявка на изобретение № 2007107238/02. Заявл. 26.02.2007 г., опубл. 10.09.2008 г.
15. Демидов К.Н., Смирнов Л.А., Возчиков А.П. и др. Технология производства высокомагнезильных флюсов и повышение стойкости футеровки при их использовании в конвертерной плавке. Сообщение 1 // Сталь. 2011. № 11. С. 21–30.
16. Демидов К.Н., Смирнов Л.А., Возчиков А.П. и др. Технология производства высокомагнезильных флюсов и повышение стойкости футеровки при их использовании в конвертерной плавке. Сообщение 2 // Сталь. 2011. № 12. С. 10–17.
17. Дьяченко В.Ф., Демидов К.Н., Аксельрод Л.М. и др. Повышение стойкости футеровки конвертеров с использованием магнезильно-глиноземистого

флюса // Труды X конгресса сталеплавателей. М.: Черметинформация. 2008. С. 750–753.

18. Демидов К.Н., Борисова Т.В., Возчиков А.П. и др. Высокомагнезиальные флюсы для сталеплавленного производства. Екатеринбург: «Уральский рабочий». 2013. 280 с.

19. Попов Е.С., Орличенко М. П., Лятин А.Б. и др. Применение высокомагнезиальных флюсов в конвертерном цехе ПАО «МК «Азовсталь» // Сталь. 2014. № 9. С. 15–21.

20. Возчиков А.П., Демидов К.Н., Борисова Т.В. и др. Применение высокомагнезиального флюса «Флюмаг» в сталеплавленном производстве // Сталь. 2017. № 4. С. 25–32.

21. Патент РФ № 2620217. Способ выплавки стали в конвертере // Журавлев С.Г., Краснов А. В., Маслов Д.Е. и др. // Заявка на изобретение № 2015146812. Заявл. 29.10.2015 г.

22. Патент РФ № 272692. Способ выплавки стали с комбинированной продувкой // Титов А.В., Тюленев Е.Н., Зернов Е.Е. и др. // Заявка на изобретение № 2019123266. Заявл. 24.07.2019 г., опубл. 11.08.2020 г.

23. Возчиков А.П., Демидов К.Н., Борисова Т.В. и др. Использование в конвертерном производстве высокомагнезиального флюса, содержащего брусит // Труды XV конгресса сталеплавателей и производителей металла. М.: Москва–Тула. 2018. С. 255–260.

24. Сэнфорд Д., Гарсайд В., Шонвилль К. Увеличение стойкости огнеупоров на ДСП фирмы PACIFIC STEEL // Новости черной металлургии за рубежом. 2005. № 1. С. 25–26.

25. Ameling D., Petry J., Sittard M. et al. Untersuchungen zur Schaum Schlackenbildung im Elektrolichtbogenofen // Stahl u. Eisen. 1986. No. 11. S. 625/30.

26. Патент РФ № 2645170. Способ выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи // Демидов К.Н., Возчиков А.П., Борисова Т.В. и др. // Заявка на изобретение № 2016140080. Заявл. 12.10.2016 г., опубл. 16.02.2018 г.