

А. А. Травинчев, Н. А. Вожол, И. Н. Костыря, Л. М. Аксельрод\*, В. А. Устинов\*

ОАО «Азовсталь», Мариуполь

\*ОАО «Группа Магнезит», Москва (Россия)

## Внедрение технологии использования флюса на основе MgO-CaO в качестве модификатора шлака в сталеразливочных ковшах конвертерного цеха ОАО «Азовсталь»

*В конвертерном цехе внедрена технология модифицирования шлака в сталеразливочном ковше высокомагнезиальным MgO-CaO-флюсом марки ФОМИ производства Группы Магнезит. Доказана эффективность технологии, способствовавшей повышению стойкости оксидоуглеродистых огнеупоров как в футеровке шлакового пояса, так и стен. Шлак в сталеразливочном ковше сохранил десульфуризирующую способность.*

**Ключевые слова:** высокомагнезиальный флюс, футеровка, сталеразливочный ковш

На протяжении семи лет на металлургических предприятиях СНГ эффективно разрабатываются и используются флюсы основного состава с целью повышения стойкости футеровки металлургических агрегатов [1-4].

Формирование гарнисажного слоя, например, на поверхности рабочего слоя футеровки сталеразливочного ковша происходит за счет затвердевания жидкого шлака как в зоне шлакового пояса, так и ниже его по мере понижения уровня шлака на мениске металла вниз во время разливки стали на МНЛЗ. Фактически на практике имеет место формирование слоя настыли на рабочей поверхности футеровки за счет остывания жидкого шлака при контакте с оксидоуглеродистым огнеупором, повышения его вязкости и последующего затвердевания. Этот процесс развивается благодаря постоянному отводу тепла через стены сталеразливочного ковша.

Стенка сталеразливочного ковша представляет собой многослойную конструкцию. При этом в шлаковом поясе тем или иным способом создаются условия интенсивного теплоотвода (например, в контрольном слое футеровки размещают периклазохромитовый огнеупор и не устанавливают теплоизоляционный материал на стыке контрольного слоя с металлическим корпусом, чтобы замедлить реакцию взаимодействия шлака с огнеупором). В стенке же, напротив, решают задачу теплоизоляции, используя, например, пиррофилитовый (полуокислый) огнеупор в контрольном слое, и на стыке этого слоя с металлическим корпусом размещают теплоизоляционный материал толщиной 5-12 мм. При этом также решаются задачи ограничения температуры на металлическом корпусе до 280-320 °С, чтобы избежать его коробления, даже при износе рабочей футеровки, и, в известной мере, замедления процесса остывания металла в сталеразливочном ковше [5].

Для реализации процесса гарнисажеобразования на стенках сталеразливочного ковша крайне важно поддержание в жидком состоянии шлака на мениске (контакте с жидким металлом) в течение всего периода разливки металла, который обычно составляет

70-80 мин. Однако более важным моментом представляется замедление процесса взаимодействия сильно окисленного перегретого конечного конвертерного шлака, который, несмотря на так называемый «подрыв» конвертера в конце выпуска металла, частично попадает в сталеразливочный ковш. С этой целью в период формирования слоя шлака в ковше целесообразно поддерживать содержание MgO в шлаке на уровне 9-10 %.

Гарнисажное покрытие, формируемое на рабочем слое футеровки, решает как минимум три основные задачи: частично блокирует доступ кислорода воздуха к огнеупору; замедляет процесс окисления углерода в период перемещения ковша по цеху без металла и во время его пребывания на стенде разогрева между плавками; замедляет процесс остывания футеровки и принимает на себя скачок температуры в момент заполнения ковша металлом.

Ряд экспериментов, проведенных специалистами ЗАО «Донецкий электрометаллургический завод» [3], а также опыт, полученный ОАО «Металлургический завод им. А. К. Серова» совместно с ОАО «УИМ» [4], показал эффективность применения именно высокомагнезиального флюса марки ФОМИ (вариант Dalslag PL66), содержащего (в %) > 66 MgO, 12-22 CaO, 4-8 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 5 SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и менее 0,01 S в сравнении с флюсом иного состава (в том числе ожелезненным и мягкообожженным доломитом, флюсом типа СМГ – производства Группы Магнезит, – содержащего до 4 % CaO, но имеющего потери массы при прокаливании до 45 %). Это преимущество создано благодаря оптимальному фазовому составу и размещению фаз во флюсе. Керамической связкой в брикете являются, в основном, ферриты кальция (CaO · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 2CaO · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с температурой плавления 1216 и 1440 °С, соответственно), а реже силикаты кальция-алюминия-железа. Суммарное количество этих ферритов и силикатов обычно не превышает 9 %, однако этого достаточно, чтобы при контакте с металлом, выпускаемым из конвертера (> 1650 °С), брикет быстро распадался на более мелкие части, состоящие из оксидов MgO и CaO.

С целью перевода в шлак оксидов флюса последний подается в ковш и заполняет на 1/3÷2/3 объема, что способствует гомогенизации покровного шлака в ковше к моменту подачи металла на установку ковш-печь.

Усовершенствованная технология применения флюсов отработывалась в ККЦ «МК „Азовсталь“» при следующих условиях: температура футеровки ковша перед подачей под плавку – 600-750 °С; температура металла на выпуске из конвертера – 1630-1700 °С; температура металла в конце обработки на установке ковш-печь (УКП) – 1530-1545 °С; обработка металла на УКП производилась согласно производственной программы цеха; доля металла, обрабатываемого на установке ковшового вакуумирования 40 %; время пребывания металла в ковше от слива из конвертера до подачи на МНЛЗ – 2,5-3,5 ч; среднее время разлива стали на МНЛЗ – 1,3 ч; оборачиваемость ковша (средняя) – 3,35 плавов в сутки.

Кладку рабочей футеровки сталеразливочного ковша выполняли оксидоуглеродистыми огнеупорами: шлаковый пояс периклазоуглеродистыми изделиями на основе плавленного периклаза с 12-14 % графита, открытая пористость 3-4 %, предел прочности при сжатии 40-50 Н/мм<sup>2</sup>, толщина кладки 200 мм; подшлаковый пояс периклазоуглеродистыми изделиями на основе плавленного периклаза с 10-12 % графита, открытая пористость 5-6 %, предел прочности при сжатии 40-50 Н/мм<sup>2</sup>, толщина кладки 170 мм; стены периклазоалюмоуглеродистые на основе плавленных корунда и периклаза с ~8 % графита, открытая пористость 5-6 %, предел прочности при сжатии 40-50 Н/мм<sup>2</sup>, толщина кладки 170 мм.

Процесс износа углеродсодержащих огнеупоров, как известно, проходит несколько стадий: на первой стадии имеет место окисление углеродистой составляющей в процессе сушки-разогрева футеровки (скоксованный углеродистый компонент начинает окисляться уже при 350 °С, температура начала окисления графита не превышает 560 °С), процесс окисления углерода продолжается под воздействием [O]<sup>-2</sup>, растворенного в жидких шлаке и стали на поверхности контакта шлак-огнеупор и сталь-огнеупор (обычно говорят об окислителях FeO и MnO). Следует отметить, что при пористости оксидоуглеродистого огнеупора в состоянии поставки (%) 4-6 его пористость после разогрева ковша до 1000 °С составляет 7-10, а после окисления 10-12. С пористость изделия превышает 30. Таким образом, жидкоподвижный шлак проникает в обезуглероженный слой огнеупора, вступает во взаимодействие с его оксидными компонентами в первую очередь на поверхности контакта с зернами огнеупора, растворяя в себе оксидную тонкомолотую часть и образуя легкоплавкие многокомпонентные фазы системы CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-MnO-Na<sub>2</sub>O. Наличие в шлаке плавикового шпата, как известно, ускоряет процесс коррозии огнеупорного материала. По данным работы [6], образец периклазового огнеупора, имеющего достаточно плотное зерно диаметром 20 мм, теряет, например, при погружении в основной жидкоподвижный шлак (содержащий CaF<sub>2</sub>) от 0,6 до 2,2 мм в диа-

метре в течение 15 мин. Но в период перемещения металла в ковше, а особенно при интенсивном перемешивании в период продувки аргоном зерна периклаза будут вымываться из огнеупора с последующим растворением в шлаке. Следовательно, одним из способов замедления процесса износа шлакового пояса является оптимизация времени и интенсивности продувки металла аргоном в ковше.

Добавка магнийсодержащего флюса в ковш преследует две цели: некоторое повышение вязкости шлака – но при этом он утратит свою ассимилирующую по отношению к оксидным включениям и десульфурную способность, – кроме того, шлак не должен «замерзнуть» раньше слива металла из ковша; достижение концентрации MgO в шлаке максимально близкой к концентрации насыщения, что создает термодинамический барьер растворению в шлаке бесконечного количества MgO из футеровки [2].

В работе [2] подтверждено (рис. 1) закономерное повышение динамической вязкости шлака при снижении температуры, а так же отсутствие существенного влияния степени насыщения шлака оксидом магния  $(\% \text{MgO})_{\text{фактическое}} / (\% \text{MgO})_{\text{насыщения}}$  на его вязкость.

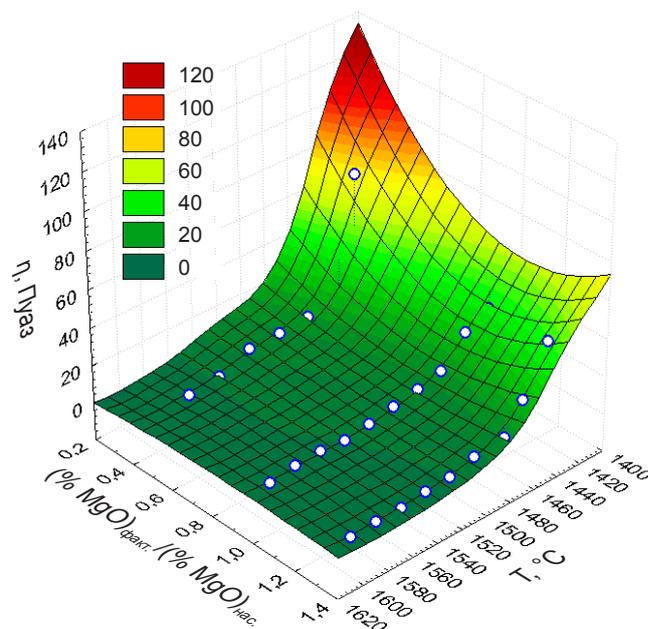


Рис. 1. Изменение динамической вязкости шлака от соотношения  $(\% \text{MgO})_{\text{факт.}} / (\% \text{MgO})_{\text{нас.}}$  и температуры

Следует отметить, что в конвертерном цехе комбината «Азовсталь» используются две технологии наведения десульфурующего шлака [7]: совместная подача извести и плавикового шпата, а для ряда качественных марок стали рафинировочный шлак системы CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub> (в %: 56,5-58 CaO; 12-13 SiO<sub>2</sub>; 15-16 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 7,0-7,3 Na<sub>2</sub>O; 0,1 S; 4,4-4,7 F). Температура плавления рафинировочного шлака 1255-1270 °С. Установлено, что рафинировочный шлак образует с высокомагнезиальным флюсом гомогенный жидкоподвижный шлак за меньший промежуток времени.

Начиная с 2008 г. в конвертерном цехе МК «Азовсталь» выполнен комплекс экспериментальных работ

по отработке технологии применения высокомагнезиальных флюсов с целью повышения стойкости футеровки 350-тонных сталеразливочных ковшей в условиях обработки металла на УКП. Например, флюс ФОМИ (Dalslag P66 или Dalslag PL66) поставляется в настоящее время в виде шарообразных брикетов крупностью 4-40 мм (рис. 2). Причем доля фракции менее 8 мм не превышает 10 %, что позволяет перемещаться брикету по течкам самотеком.



**Рис. 2.** Внешний вид брикетов флюса ФОМИ

Основные показатели химического состава шлаков с использованием флюса ФОМИ и без него приведены в табл. 1.

В процессе отработки технологии присадки флюса марки ФОМИ установлено, что в условиях КЦ следует подавать флюс с массовым расходом от 250 до 500 кг на плавку в период наполнения сталеразливочного ковша металлом от 1/3 до 2/3 его высоты. В процессе опытно-промышленных испытаний принимались дополнительные меры по предотвращению попадания конвертерного шлака в сталеразливочный ковш посредством подрыва конвертера при появлении шлака в конце выпуска плавки.

В процессе отработки технологии использования флюса ФОМИ выполнен сравнительный анализ степени десульфурации металла в сталеразливочном ковше с использованием флюса и без него. Чистота эксперимента обеспечивалась выбором для сравнения плавков из одних серий (одних марок стали), выпущенных из одного конвертера с одинаковыми технологическими характеристиками металла, а также обработанных ТШС с примерно одинаковым расходом.

Показатели степени десульфурации металла в сталеразливочном ковше отражены в табл. 2.

Установлено, что на этапе от выпуска металла из конвертера до внепечной обработки на опытных плавках с содержанием углерода в металле перед выпуском менее 0,05 % – степень десульфурации металла составила в среднем 28 % и была на 5,4 % ниже, чем на сравнительных плавках; на опытных же плавках с содержанием углерода в металле перед выпуском 0,05 % и более – степень десульфурации металла составила в среднем 40,6 % и была на 6,2 % выше, чем на сравнительных плавках. На этапе от выпуска металла из конвертера до середины разливки средняя степень десульфурации металла на опытных плавках была выше на 5,4-5,9 % вне зависимости от содержания углерода в металле перед выпуском, чем для сравнительных, и составила 56,5-66,4 %.

По результатам анализа эффективности применения магнезиального флюса в полупромышленном масштабе принято решение о переходе к систематическому его использованию на всех марках стали, выплавляемых в цеху. При средней оборачиваемости ковшей 2,85 плавки в сутки, средней температуре металла на сливе 1654 °С доля плавков, на которых производилась присадка флюса, составила 88,7 %. Анализ стойкости футеровки сталеразливочных ковшей по результатам эксплуатации в периоды до использования флюса и присадки флюса (проанализировано более 100 ковшей) показал, что: снижена доля ковшей с двухкратной заменой огнеупоров в шлаковом поясе с 94 до 62 %; средняя стойкость рабочего слоя футеровки шлакового пояса за означенный период возросла с 31,3 до 37 плавков, а сталеразливочных ковшей – увеличена с 74,8 до 77,6.

*Таблица 1*

**Химический состав шлаков, полученных с использованием и без использования флюса**

Уровень	Среднее значение из трех проб, %							
	без использования флюса				с использованием флюса			
	MgO	CaO	FeO	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	FeO	SiO <sub>2</sub>
Минимальный	2,8	44	0,82	12	3,5	42	0,43	9,0
Максимальный	5,3	58	4,20	21	18,0	58	4,74	19,0
Средний	4,5	49	2,70	17	11,0	48	2,60	12,9

*Таблица 2*

**Степень десульфурации металла в ковше с использованием и без использования флюса для плавков с содержанием [C] перед выпуском ≥ 0,05 %**

Уровень	От выпуска до внепечной обработки				От выпуска до середины разливки			
	опытные с ФОМИ		сравнительные		опытные с ФОМИ		сравнительные	
Минимальный	3	7	7	12	13	33	20	46
Максимальный	44	62	73	81	81	86	75	77
Средний	28	40,6	33,4	34,4	56,5	66,4	50,6	61

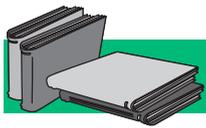
## Выводы

С конца 2009 г. в ККЦ «МК „Азовсталь“» внедрена технология корректировки состава шлака в сталеразливочном ковше по оксиду магния с использованием магнезиального флюса, содержащего, %, не менее 66 MgO и 12-22 CaO.

Присадка магнезиального флюса в количестве (в среднем) 242 кг/пл. увеличивает содержание MgO в шлаке до 9-10 %, что позволяет в условиях ККЦ «МК „Азовсталь“» существенно увеличить стойкость периклазоуглеродистых огнеупоров в шлако-

вом поясе футеровки сталеразливочных ковшей, при сохранении необходимой (и даже некотором увеличении) степени внепечной десульфурации металла.

Отсечка шлака, например, с использованием автоматизированной системы с отсечными керамическими конусами может дополнительно способствовать повышению эффективности использования магнезиального флюса в сталеразливочных ковшах, а при условии полной отсечки конвертерного шлака во время выпуска необходимое количество флюса может быть снижено до 200-220 кг/пл.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексные синтетические магнезиальные флюсы для улучшения конвертерного процесса / К. Н. Демидов, Л. А. Смирнов, А. П. Возчиков и др. // Сталь. – 2010. – № 5. – С. 45-48.
2. Axelrod L., Kushnerev I., Borzov D. Improvement of EAF lining service life by using of MgO-CaO-FLUX. UNITECR-2009, 13-16 October, 2009, Salvador, Brasil.
3. Касьян Г. И., Минц А. Я. Возможность повышения стойкости футеровки сталеразливочных ковшей при использовании магнезиальных шлакообразующих добавок // Новые огнеупоры. – 2008. – № 10. – С.13-16.
4. Промышленные испытания технологии обработки стали в ковше с использованием магнезиальных флюсов / С. А. Спиринов, А. А. Бабенко, С. Г. Стародубцев // Электromеталлургия. – 2009. – № 5. – С. 11-12.
5. Сталеразливочный ковш объект энергосбережения / Л. М. Аксельрод, В. Г. Мизин, М. К. Филяшин и др. // Новые огнеупоры. – 2003. – № 3. – С. 52-55.
6. The impact of synthetic slags on steel ladle refractory lifetime / G. Wohmeyer, T. Elorrza-Ricard, R. Joilly et al. // 51<sup>st</sup> International Colloquium on Refractories, 2008, Aachen, Germany, 15-16 October 2008, P. 80-83.
7. Технология обработки трубных марок стали на установке ковш-печь с применением кускового рафинировочного шлака в условиях ККЦ ОАО «МК „Азовсталь“» / О. Б. Исаев, Ю. А. Зинченко, А. В. Трусов и др. // Чер. металлургия. – 2009. – № 9. – С. 45-46.

### Анотація

*Травінчев О. А., Вожол М. А., Костиря І. М., Аксельрод Л. М., Устинов В. А.*  
Впровадження технології використання флюсу у сталерозливних ковшах конвертерного цеха ВАТ «Азовсталь»

*В конвертерному цеху впроваджено технологію модифікування шлаку у сталерозливному ковші високомагнезіальним MgO-CaO-флюсом марки ФОМІ виробництва «Групи Магнезит». Доведено ефективність технології, що сприяла підвищенню стійкості оксидовуглецевих вогнетривів як у футерівці шлакового пояса, так і стін. Шлак у сталерозливному ковші зберіг здатність до десульфуратції.*

### Ключові слова

*високомагнезіальний флюс, футерівка, сталерозливний ківш*

### Summary

*Travinchev A., Vozhol N., Kostyrya I., Akselrod L., Ustinov V.*  
Introduction of technology for application of MgO-CaO-flux as a slag modifier in steel-teeming ladles of the converter workshop at the «Azovstal» plc

*The technology of modifying slag in steel-teeming ladles with high magnesia MgO-CaO flux of FOMI grade produced by Magnezit Group was introduced at the converter workshop. The efficiency of the technology was proved. It provides for increase of service life of oxide-carbon refractories both in the lining of slag line and of the walls. Slag in the steel-teeming ladle preserved its desulfurizing capacity*

### Keywords

*high magnesia flux, lining, steel-teeming ladle*

Поступила 21.03.11