



Корниевский В.Н., Логозинский И.Н.,  
Сальников А.С. /к.т.н./, Старшиков Р.В.,  
Мосиевич М.С., Зализняк И.П.  
ПАО «Днепроспецсталь»

Аксельрод Л.М. /к.т.н./  
ОАО «Группа «Магнезит»  
Лагутин А.В.  
Dalmond

## Применение высокомагнезиального флюса в конвертере ГКР

*В электросталеплавильном цехе № 2 ПАО «Днепроспецсталь» отработана технология применения высокомагнезиальных флюсов в агрегате газокислородного рафинирования. Показана эффективность применения флюса с целью замедления процесса износа футеровки и формирования защитного гарнисажа по завершению плавки. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.*

**Ключевые слова:** газокислородное рафинирование, огнеупоры, высокомагнезиальные флюсы

*In the EAF shop number 2 of PJSC "DSS" the technology of application of high-Mg fluxes in oxygen refining unit. The efficiency of the use of flux in order to slow the process of lining wear and the formation of a protective ledge to complete melting.*

**Keywords:** gas-oxygen refining, refractory, high-magnesian fluxes

Конкуренция производителей качественных сталей требует снижения их себестоимости. Особонизкоуглеродистые ( $C < 0,03\%$ ), коррозионностойкие стали в ЭСПЦ-2 ПАО «Днепроспецсталь», выплавляются по технологии [1].

Введение в технологическую схему агрегата «ковш-печь» сократило время обработки металла в агрегате ГКР, за счет переноса операций по рафинированию и доводке в УКП, что позволило оптимизировать расход легирующих и корректировку содержания в заданных пределах Ni, Mn, Mo, Cr, Si, C.

Газокислородный конвертер емкостью 60 т в ПАО «Днепроспецсталь» футерован периклазоизвестковыми огнеупорами и состоит из съёмного днища с донным газо-кислородным дутьем, которое осуществляется тремя фурмами типа «труба в трубе» диаметром 36/28 мм с расходом 20–60 м<sup>3</sup>/мин кислорода и 15–35 м<sup>3</sup>/мин аргона или азота.

С использованием пяти марок периклазоизвестковых огнеупоров выкладывается дифференцированная футеровка: в зоне металла изделиями, содержащими 63 % MgO, 35 % CaO, другие оксиды ( $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$ ) менее 2 % и показателями свойств: кажущейся плотности 2,9 кг/см<sup>3</sup>, пористости открытой 13,5 %. В наиболее изнашиваемых участках футеровки ванны конвертера наряду с увеличением толщины рабочей футеровки до 750 мм используются изделия повышенного качества: 62 % MgO, 36 % CaO, прочие оксиды ( $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$ ) менее 2 % и показателями свойств: кажущейся плотности 3,0 кг/см<sup>3</sup>, пористости открытой 11,5 %.

В ПАО «Днепроспецсталь» за последние 10 лет внесены существенные изменения в технологию применения огнеупорных материалов. Переход к дифференцированной футеровке конвертера ГКР периклазоизвестковыми огнеупорами во всех зонах футеровки, кроме горловины, где используются безобжиговые огнеупоры на пековом связующем, позволил в

2012 г. достичь стойкости 100–110 плавов, вместо 32 плавов при использовании периклазохромитовых огнеупоров, снизить удельные затраты с 226 до 131 гривны на тонну стали [2].

Наиболее интенсивно износ футеровки кислородного конвертера идет в период формирования шлака, при его низкой основности и высокой окисленности. С повышением основности шлака скорость износа футеровки падает.

Один из способов защиты футеровки металлургического агрегата в процессе его эксплуатации - формирование защитного гарнисажа. Гарнисаж и износ футеровки замедляется за счет создания в шлаке концентрации оксида магния, приближающейся к пределу растворимости, что используется в кислородных конвертерах и дуговых сталеплавильных печах, сталеразливочных ковшах [3, 4].

В последнее время для защиты футеровки в кислородных конвертерах и дуговых сталеплавильных печах используются высокомагнезиальные флюсы, однако особенности процесса в конвертере ГКР требуют отработки конкретной технологии в этих условиях.

Фазовый состав высокомагнезиальных флюсов DALSLAG PL70 включает ожелезненный периклаз (серия растворов магнезиовюстита, магнезиоферрита и периклаза с высокой температурой плавления) - более 90 %, а также до 7–9 % в сумме монтичеллита ( $CaO \cdot MgO \cdot SiO_2$ ,  $t_{пл} = 1430$  °C), мервинита ( $3CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$ ,  $t_{пл} = 1436$  °C), ферритов магния ( $MgO \cdot Fe_2O_3$ ,  $t_{пл} > 1750$  °C) и магнезиовюстита ( $FeO \cdot MgO$ ,  $t_{пл} = 1830$  °C). Крупные зерна ожелезненного магнезита имеют повышенную концентрацию железа и соответственно меньшую температуру плавления на периферии зерна, где она значительна (до 50–60 %  $Fe_2O_3$ ), и минимальную концентрацию и более высокую температуру плавления ближе к центру. Мелкие зерна насыщены оксидами железа

более равномерно. Исследования по определению скорости растворения магнезиальных флюсов в шлаковом расплаве [3] показали, что, например, скорость растворения флюса марки ФОМ, фазового состава близкого к DALSLAG PL70, в конвертерном шлаке в три раза больше, чем обожженного доломита, содержащего более 12 % оксидов, таких как  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и др. и в фазовом составе, помимо периклаза и оксида кальция, имеются более легкоплавкие браунмиллерит ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ,  $t_{пл.} = 1415 \text{ }^\circ\text{C}$ ), ранкинит ( $3CaO \cdot 2SiO_2$ ,  $t_{пл.} = 1429 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и ферриты кальция ( $2CaO \cdot Fe_2O_3$ ,  $t_{пл.} = 1436 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $CaO \cdot Fe_2O_3$ ,  $t_{пл.} = 1215 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Сочетание компонентов, различающихся температурой плавления, способствует лучшему залечиванию дефектов рабочей поверхности футеровки конвертера. Температура футеровки при выпуске металла из агрегата ГКР составляет 1600-1650  $^\circ\text{C}$ , адгезия флюса к футеровке при этой температуре облегчена, способствуя формированию гарнисажа на ее поверхности.

Магнезиальные флюсы марок DALSLAG PL70, DALSLAG PL703, получаемые высокотемпературным обжигом магнезита и сидерита  $Mg \cdot Fe(CO_3)_2$ ,

представлены в значительной степени ферритами магния и существенно меньшим количеством более легкоплавких ферритов кальция, что способствует высокой скорости растворения флюсов в шлаке.

При применении высокомагнезиального флюса взамен периклазового порошка снижается продолжительность усвоения шлаком MgO-содержащей добавки, обеспечивается повышение концентрации MgO в шлаке до нужных значений, снижаются затраты на тонну стали вследствие меньшей стоимости флюса в сравнении со стоимостью периклазового порошка.

Характеристики опробованных материалов основного состава, упомянутых в настоящей статье, приведены в табл. 1.

По действующей технологии в качестве основного модификатора шлака применяется максимально допустимое количество спеченного периклазового порошка марки DALPOR P87E (табл. 1), не препятствующее необходимой жидкоподвижности шлака (700 кг на плавку). Его присадка производится через бункерную систему после выпуска металла или перед заливкой полупродукта в конвертер. Экспери-

**Таблица 1. Характеристики опробованных магнезиальных материалов**

Наименование	Химический состав, вес. %						Фракционный состав
	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	S	
Периклазовый порошок марки DALPOR P87E; P88E (ТТ 72664728-076-2008)	88-89	4-6	4	н.д.	н.д.	н.д.	<4 мм – 95 %, в т.ч. <1 мм – 50-85 %
Помол доломитового кирпича	50	48	0,7	0,6	0,1	н.д.	н.д.
Высокомагнезиальный флюс DALSLAG PL70 (ТТ 72664728-075-2008)	71-83	4-8	<5	<6,0	н.д.	<0,05	4-40 мм >90 % <4 мм - <10 %
Высокомагнезиальный флюс DALSLAG PL703 (ТТ 72664728-374-2011)	68-75	4-12	<6	4-12	н.д.	<0,05	>4 мм – менее 10 % <1 мм - менее 85 %

**Таблица 2. Химический состав шлаков III периода отдельных кампаний выплавки с применением высокомагнезиальных материалов**

№ кампании выплавки	Стойкость футеровки, плавков	Количество проб шлака, штук	Присадка магнезиальных добавок, кг				Химический состав шлака, %				Основность шлака
			DALPOR P88E	Помол доломитового кирпича	Флюс		среднее / min-max				
					DALSLAG PL-70	DALSLAG PL-703	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	CaO / SiO <sub>2</sub>	
350	99	15	700			6,55 / 4,1-8,8	54,95 / 38,1-58,2	38,06 / 35-40,75	1,61 / 1,20-1,64		
		15		1400		5,42 / 4,6-6,25	57,2 / 43,1-57,4	38,2 / 36,4-44,5	1,64 / 1,31-1,43		
		17			770		9,91 / 7,1-12,8	57,2 / 37,2-58,2	36,93 / 25,5-46,75	1,82 / 1,74-1,52	
356	103	20	700			7,09 / 5,18-8,9	52,5 / 44-58,2	35,48 / 31,95-39	1,68 / 1,54-1,72		
		15			780		9,0 / 6,9-12,4	47,19 / 34,4-58,3	35,1 / 26,25-39,75	1,60 / 1,57-1,78	
364	101	15			780		9,55 / 7,4-13,1	56,9 / 39,4-57,18	27,7 / 24,4-38,63	2,40 / 1,92-1,82	
		19				730		10,25 / 8,16-13,6	54,8 / 35,8-56,87	28,25 / 25,57-42,34	2,30 / 1,71-1,66

ментально было показано, что для растворения магнезиальной присадки с достижением концентрации MgO в шлаке до значений 8-10 % требуется от 20 до 35 мин.

В табл. 2 приведен состав шлаков отдельных кампаний конвертера ГKP, отобранных в III периоде восстановительного рафинирования металла при применении исследованных MgO-содержащих материалов. Из табл. 2 видно, что средний уровень концентрации MgO в шлаке составлял 6,55-7,09 %, несмотря на достаточное количество присаживаемого периклазового порошка, вследствие его низкой реакционной способности и не контролируемым пылеуносом мелких фракций.

Для наведения шлака с необходимым содержанием MgO был опробован помол отработанного доломитового кирпича. Его присадка в количестве 1400 кг обеспечивала среднее содержание MgO в шлаке 5,42 % (табл. 2), что было недостаточным.

Применение высокомагнезиальной добавки в шлак при выплавке стали в ГKP с периклазоизвестковой футеровкой началось с 2011 г. Провели ряд испытаний широко применяемого в кислородных конвертерах магнезиальноизвесткового флюса марки DALSLAG PL-70 в виде гранул фракции 40-4 мм, а также мелкофракционного (0-4 мм) флюса марки DALSLAG PL703 (табл. 1).\*

Технология присадки флюса DALSLAG PL703 фракции 0-4 мм в конвертер не отличалась от технологии присадки флюса DALSLAG PL70, при этом распыление в пустом конвертере мелких фракций флюса способствовало формированию защитного гарнисажа в начальный период эксплуатации агрегата с частичным восстановлением участков изношенной футеровки, образующихся со временем. Показано, что применение флюса DALSLAG PL703 обеспечивало его ускоренное растворение в шлаке с достижением среднего содержания в шлаке 10,25 % MgO (табл. 2).

Основность получаемых шлаков составляла 1,46–2,14. Сравнение ее величины с зависимостью концентрации насыщения шлака MgO от  $B = CaO/SiO_2$  в равновесии [5] показывает, что фактическая концентрация была ниже равновесной при использовании периклазового порошка и доломита, и достигала и превышала равновесную при использовании флюсов DALSLAG PL70 DALSLAG PL703.

Для оценки влияния шлаков с повышенным содержанием MgO на опытных кампаниях был проведен анализ степени десульфурации металла. Показано, что десульфурация металла плавов, выплавленных с использованием флюсов, не ухудшилась и составляла 71-72 %, что идентично степени десульфурации металла, выплаваемого по действующей технологии с использованием периклазового порошка.

Оптимизация технологических параметров выплавки нержавеющей стали в конвертере ГKP при действующей технологии шлакообразования привела к увеличению стойкости агрегата до 100–115 плавов. Применение высокомагнезиальных флюсов DALSLAG PL70 и DALSLAG PL703 в сравнительных условиях эксплуатации показывает возможность достижения стабильной стойкости футеровки конвертера 110–115 плавов без изменения качества металла.

Анализ экономической эффективности применения высокомагнезиальных флюсов взамен периклазового порошка показал возможность снижения удельных затрат до 8 грн./т стали.

### Выводы

Проанализировано влияние присадок периклазового порошка, помола отработанного доломитового кирпича и высокомагнезиальных флюсов DALSLAG PL-70 и DALSLAG PL-703 на состав шлаков и стойкость футеровки конвертера ГKP; показана способность мелкофракционного флюса DALSLAG PL-703 формировать защитный гарнисаж на футеровке конвертера за счет спекания с ней мелких фракций флюса; показана возможность снижения удельных затрат до 8 грн./т стали.

### Библиографический список

1. Коваль А.Е., Казаков С.С., Король Л.Н., Кнохин В.Г. Совершенствование технологии выплавки коррозионно-стойких сталей в ОАО «Днепропетцсталь» // Сталь. – 2002. - № 9. - С. 36-40.
2. Барков Е.Н., Логозинский И.Н., Сальников А.С., Король Л.Н., Булат В.А. Применение доломитовых изделий для футеровки конвертора газокислородного рафинирования при выплавке коррозионно-стойких нержавеющей сталей на заводе «Днепропетцсталь» // Новые огнеупоры. – 2005. - № 11. - С. 76-78.
3. Демидов К.В., Смирнов Л.А., Возчиков А.П. и др. Технология производства высокомагнезиальных флюсов и повышение стойкости футеровки при их использовании в конвертерной плавке // Сталь. – 2011. - № 11. - С. 21-27; № 12. - С. 10-16.
4. Аксельрод Л.М., Оржех М.Б., Кушнерев И.В. Повышение стойкости футеровки ДСП путем использования MgO-CaO флюса // Электрометаллургия. – 2009. - № 11. - С. 9-13.
5. Obst K.H., Schurmann E., Munchberg W.u.a. // Arh. Eisenhutt. – 1980. - № 6. – P. 407-412.

**Поступила 30.08.2013**

\* В работе принимали участие Зубков А.А., Ковалева С.В., Степанова В.П., Тур Л.В.