

ПИЩИДА В.И., ВЕЛИЧКО А.Г., БОЙЧЕНКО Б.М., ТАРНАВСКИЙ М.С.,
ЧЕРЕВКО В.П., ДУША В.М. (ОАО ДМЗ ИМ. ПЕТРОВСКОГО, НМЕТАУ)

СЛУЖБА ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ

В работе представлены результаты исследований по применению периклазоуглеродистых огнеупоров для футеровки конвертеров с дифференцированной кладкой. Приведен анализ влияния ряда технологических параметров на стойкость футеровки, даны рекомендации по шихтовке плавки и присадкам магнезиальных материалов для 60-т конвертеров ОАО «ДМЗ им. Петровского».

В последние годы стойкость футеровки конвертеров на ОАО «ДМЗ им. Петровского» была одной из самых низких на Украине и не превышала 350 плавов, в то время как в мировой практике благодаря совместным усилиям огнеупорщиков и металлургов стойкость футеровки последовательно повышалась (приблизительно со скоростью 300–400 плавов в год) и в настоящее время достигла 3–4 тыс. плавов в Японии и Европе (где не занимаются нанесением конечного шлака на футеровку разбрызгиванием) и 7 тыс. и более в США и Китае (шлак разбрызгивают).

ОАО «ДМЗ им. Петровского» не имеет собственного производства огнеупоров, и подобный разрыв в стойкости футеровки на заводе и в мировой практике предопределил опробование различных, в том числе качественно новых конвертерных огнеупоров. Завод первым в стране с 1994 г. стал использовать периклазоуглеродистую футеровку с содержанием $MgO > 74\%$ и $C > 12\%$ и также впервые опробовал продукцию производства КНР, располагающей 85% мировых запасов чистейшего магнезита. Однако стойкость периклазоуглеродистой футеровки сама по себе не обеспечивается априорно высокой — это сразу выявила практика завода, интервал изменений составил 483–1205 плавов. Настоящий анализ посвящен определяющим зависимостям стойкости периклазоуглеродистой конвертерной футеровки от сталеплавильных параметров и уточнению требований конвертерного передела к таким огнеупорам.

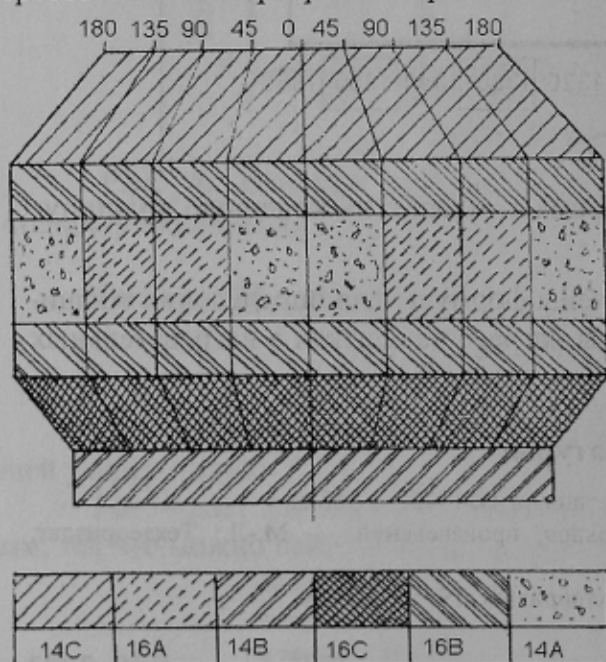


Рис.1. Типичная схема футеровки конвертера ПУО

Испытана продукция шести фирм — производителей огнеупоров, разработаны и проверены более десятка различных конструкций футеровок. Арматурный слой футеровки выполняли из обожженного магнезитового кирпича, рабочий — из периклазоуглеродистых огнеупоров (ПУО) в соответствии со сложившейся к последним компаниям схемой дифференцированной кладки (рис.1, табл.1). По составу и физико-механическим свойствам испытанные огнеупоры рабочего слоя отвечали главным требованиям к ПУО, предел прочности при сжатии превышал 35 МПа, открытая пористость составляла менее 4%, кажущая плотность — более $2,95 \text{ г/см}^3$ и указанные различия в стойкости в заметной степени определяются различиями в технологических параметрах проделки плавов.

Таблица 1. Основные показатели периклазоуглеродистых огнеупоров, опробованных на ОАО «ДМЗ им. Петровского»

Свойства	Марка огнеупора					
	16А	16В	16С	14А	14В	14С
Состав, мас. %: MgO	74	74	74	76	76	76
С	>16	>16	>16	>14	>14	>14
Антиоксидант (Mg)	5	-	-	5	-	-
Содержание плавленного магнезита в магнезитовом сырье, %	100	100	100	100	100	100
Открытая пористость	<3,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
Предел прочности на сжатие без нагрева, МПа	40	35	35	40	35	35
Предел прочности на сжатие при нагреве до 1400 °С, МПа	10	7	4	12	8	5
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,95	2,90	2,85	2,95	2,9	2,85

Как установлено нами ранее [1], высокая стойкость ПУО обеспечивается основностью конечного шлака CaO/SiO₂ более 2,8 и наличием в нем >6% MgO за счет внешних (не из футеровки) источников оксида магния. Условия завода им. Петровского обязывают металлургов также добиваться как можно большего использования избыточного тепла процесса на переработку металлолома: в малых конвертерах всегда имеет место перерасход чугуна. Последнее обстоятельство при построении модели плавки входило в противоречие с первыми двумя, поскольку ограничивало применение CaO- и MgO-содержащих материалов (являющихся одновременно сыпучими охладителями). На последних 3-х кампаниях по футеровке опробована также доломитизированная известь с содержанием MgO=15–25%. Разработаны и адаптированы к условиям завода модели конвертерных плавки, учитывающие главные требования к их проведению (см. выше). В случаях, когда по условиям работы цеха удавалось выполнить разработанные рекомендации по шихтовому, шлаковому и температурному режимам, тогда создавались условия оптимальной службы ПУО на плавках при минимально возможном расходе передельного чугуна. Примеры расчетных параметров плавки для одного из вариантов технологии иллюстрируются уравнениями (1–5):

$$M_{\text{лом,т}} = 7,1 - 2,94(M_{\text{дол-0,5}}) - 1,67(M_{\text{бр-0,5}}) + 1,25(Si_{\text{чуг-0,7}}); \quad (1)$$

$$M_{\text{чуг,т}} = 59,9 + 2,94(M_{\text{дол-0,5}}) + 1,67(M_{\text{бр-0,5}}) - 1,25(Si_{\text{чуг-0,7}}); \quad (2)$$

$$M_{\text{изв,т}} = 4,5 + 5(Si_{\text{чуг-0,7}}); \quad (3)$$

$$(MgO), \% = 8,13 + 1,68(M_{\text{дол-0,5}}) + 7,53(M_{\text{бр-0,5}}) - 5,25(Si_{\text{чуг-0,7}}); \quad (4)$$

$$(CaO+MgO)/SiO_2 = 3,28 + 0,32(M_{\text{дол-0,5}}) + 0,45(M_{\text{бр-0,5}}) - 0,68(Si_{\text{чуг-0,7}}). \quad (5)$$

Однако практика внесла свои коррективы. Если степень использования рекомендаций на кампании со стойкостью 1205 плавки составила 80 % (и резерв рекомендаций еще не использован), то на других кампаниях она была ниже и составляла соответственно: 827 плавки — 55%, 801 — 51, 760 — 50, 533 — 35, 484 — 32, т. е. обнаруживается прямая пропорциональность. Сложные условия работы завода, а именно: непостоянная колеблющаяся в слишком широких пределах 0,5 — 1,5% концентрация в чугуне кремния, низкие отношения содержаний в чугуне Mn/Si < 0,5 и его температура, недостаточное и низкое качество извести, простои конвертеров, перегрев сталеплавильной ванны и другие трудности не позволяют пока получить устойчиво высокую стойкость огнеупоров. Особенно нежелательны с точки зрения службы ПУО: работа конвертеров на

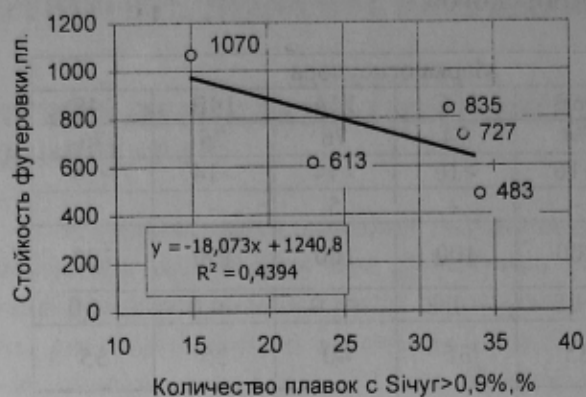


Рис. 2. Влияние качества чугуна на стойкость футеровки

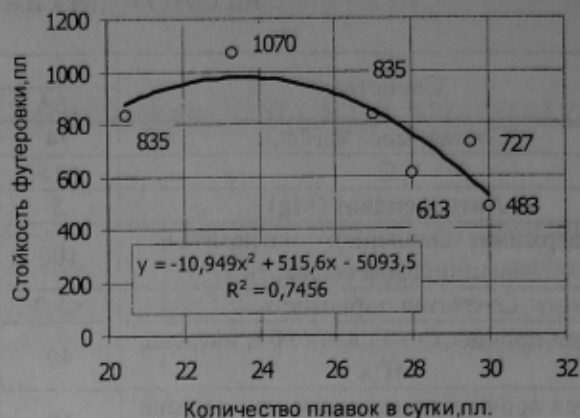


Рис. 3. Влияние интенсивности работы конвертеров на стойкость футеровки

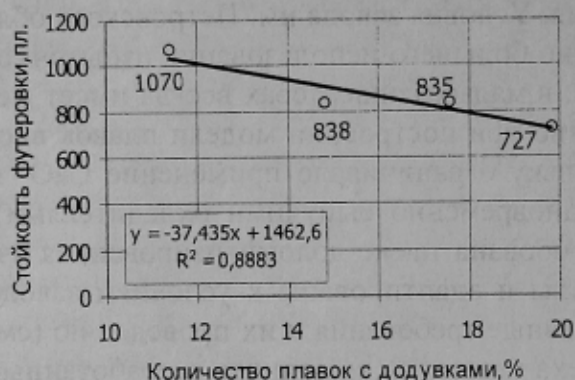


Рис. 4. Влияние додувок плавков на стойкость футеровки

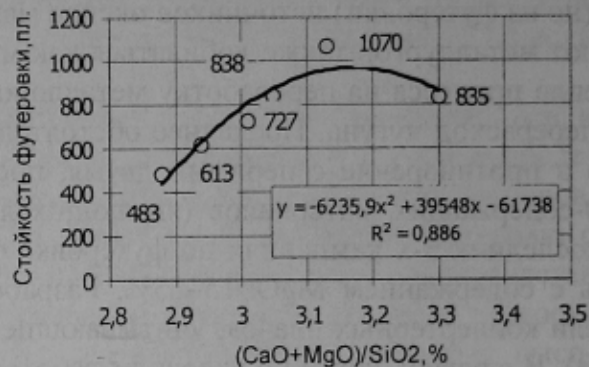


Рис. 5. Влияние основности шлака на стойкость футеровки

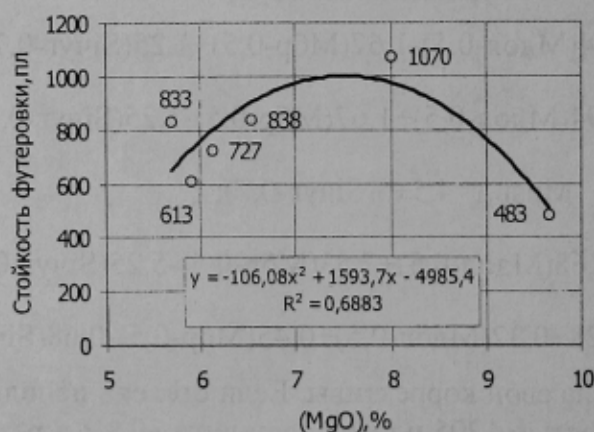


Рис. 6. Влияние содержания MgO в шлаке на стойкость футеровки

чугуне с содержанием Si > 0,9% (на футеровку длительное время воздействуют низкоосновным шлаком, неизбежно скачивание шлака и удлинение цикла плавки — рис. 2); ускоренная работа конвертеров (более 27 плавков в сутки — рис. 3), не позволяющая при обычно долгой длительности остальных операций оставлять 2,5–3,0 мин. на нанесение шлакового гарнисажа; повышение числа додувок (как результат удлинения времени окисления связки огнеупоров шлаковой зоны кислородом из опускающейся и

поднимающейся фурмы — рис. 4). Для условий работы конвертеров завода, характеризующихся также применением ваграночной извести невысокого качества, уточнен оптимум основности конечного шлака (рис. 5) и содержания в нем оксида магния (рис. 6). Превышение этих оптимумов усложняет формирование шлака в результате его гетерогенизации и вызывает необходимость раздува его поднятой кислородной фурмой со всеми отрицательными последствиями для огнеупоров.

Последние три кампании периклазоуглеродистой футеровки проведены с применением, как уже подчеркнуто, доломитизированной извести, для чего приобретен и обожжен в известкообжигательных печах ваграночного типа доломитизированный известняк с содержанием $MgO=8-20\%$. Обжиг в вагранках такого известняка протекает с меньшими затратами тепла, быстрее, известь производится с недопалом $<15\%$. Однако зерна MgO в получаемой извести оказываются намного крупнее, чем может успеть усвоиться шлаком за время продувки, шлакообразование протекало неудовлетворительно и требовало раздува шлака кислородом на каждой плавке, не происходило десульфурации стали. Учитывая отмеченные особенности, целесообразным материалом, вносящим в шлак MgO , рекомендованы магнезиальные брикеты ($MgO=63\%$, $CaO=12\%$, $SiO_2=5\%$, $CO_2=18\%$), вводимые в ванну с первых минут продувки.

Разработаны нужные шихтовый, шлаковый, и температурный режимы (табл.2). Определены и позиции, касающиеся повышения качества огнеупоров. Ими являются: повышение чистоты магнезита для огнеупоров шлемового пояса до 98% и более, 100%-е использование в этом поясе электроплавленного магнезита с 5% антиоксидантов в зонах цапфенных узлов, снижение содержания примесей в графите в 4-5 раз, максимальное повышение плотности огнеупоров леточного узла.

Таблица 2. Рекомендуемые шихтовки плавов и их показатели при работе конвертеров 3-да им. Петровского на периклазо-углеродистой футеровке (садка равна 67т) с использованием обычной извести и магнезиальных брикетов

N	Siчуг, %	Тчуг, С	Млом, т	Мчуг, т	Мизв, т	Мбр, т	Спов, %	(CaO+MgO)/SiO2	(MgO), %	Мст, т	Вых., ед	пчуг, кг/т
1	0,6	1285	7,2	59,8	4,2	0,3	0,26	3,14	5,92	61,30	0,915	975,5
2	0,6	1285	6,9	60,1	4,15	0,5	0,26	3,21	7,76	61,27	0,914	980,5
3	0,9	1285	6,9	60,1	5,8	0,5	0,26	3,12	6,43	60,68	0,906	989,8
4	0,6	1285	7,7	59,3	4,15	0,3	0,20	3,11	5,90	61,33	0,915	967,6
5	0,6	1285	7,3	59,7	4,15	0,5	0,20	3,21	7,69	61,28	0,915	974,1
6	0,9	1285	7,4	59,6	5,8	0,5	0,20	3,13	6,37	60,70	0,906	982,6
7	0,6	1300	7,3	59,7	4,15	0,3	0,26	3,11	5,94	61,32	0,915	973,9
8	0,6	1300	6,9	60,1	4,16	0,5	0,26	3,21	7,75	61,27	0,914	980,9
9	0,9	1300	6,9	60,1	5,8	0,5	0,26	3,12	6,43	60,68	0,906	989,8
10	0,6	1300	7,7	59,3	4,15	0,3	0,20	3,11	5,90	61,33	0,915	967,6
11	0,6	1300	7,3	59,7	4,15	0,5	0,20	3,21	7,69	61,28	0,915	974,1
12	0,9	1300	7,4	59,6	5,8	0,5	0,20	3,13	6,37	60,70	0,906	982,6
Ср.	0,7	1292,5	7,24	59,76	4,7	0,43	0,23	3,15	6,68	61,09	0,91	978,26

Таким образом, длительный опыт эксплуатации периклазоуглеродистой футеровки в конвертерах ОАО ДМЗ им. Петровского и выполненное моделирование шихтовок плавов (см. табл. 2) позволили выявить оптимальные условия работы конвертеров, главными из которых являются: качество чугуна ($Si \leq 0,8\%$; $Mn=0,4-0,6\%$; $S \leq 0,045\%$;

$t \geq 1330^{\circ}\text{C}$), качество извести ($\text{CaO} \geq 85\%$), основность конечного шлака (CaO/SiO_2) не менее 2,8 единиц, длительность продувки плавки не более 18 мин., надлежащий уход за футеровкой в процессе ее эксплуатации. Выполнение выше перечисленных условий позволит увеличить длительность кампании конвертеров до 1200 и более плавов.

Список литературы

1. Пицида В.И., Бойченко Б.М., Тарнавский М.С. Периклазоуглеродистая футеровка в 60-т конвертерах // Современные проблемы металлургии. Сб. трудов НМетАУ Вып.2. — Днепропетровск, 2001.

© Пицида В.И., Величко А.Г., Бойченко Б.М.,
Тарнавский М.С., Черевко В.П., Душа В.М., 2002

ТИЩЕНКО П.И., ТРОЯНСКИЙ А.А., ТИМОШЕНКО С.Н., ТИЩЕНКО А.П. (ДонНТУ)

РАЗРАБОТКА ОСНОВ НЕПРЕРЫВНОГО ПЛАВИЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Разработаны и опробованы техническое и технологическое решения непрерывного плавления-восстановительного процесса производства железоуглеродистого полупродукта в дуговой печи с использованием водоохлаждаемой сводовой решетки. Технология позволяет утилизировать физическое тепло и, при определенных условиях, восстановительный потенциал отходящих газов. Показана возможность использования металлизированного сырья, лома, а также отходов металлургического производства в технологическом процессе.

В 90-х годах сталеплавильное производство развитых стран в значительной мере обогатилось новыми технологиями и оборудованием для решения проблем экологии, энергосбережения, утилизации собственных отходов и повышения качества металла. В России и Украине в последние годы наметилась стабилизация и начался рост металлургического производства наряду с его модернизацией в направлении решения аналогичных проблем.

У традиционной схемы получения стали: доменная печь — кислородный конвертер появились, по меньшей мере, два конкурентоспособных комбинированных процесса-аналога:

— твердофазное восстановление железорудных окатышей в шахтной печи (ШП) посредством CO и H_2 , главным образом способами Midrex и HYL, с последующим переплавом металлизированного продукта в виде окатышей (DRI) или брикетов (HBI) в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) и доводкой металла в установке печь-ковш [1];

— жидкофазный процесс с использованием в качестве восстановителя продуктов газификации некоксуемых углей по технологии Corex фирмы Voest-Alpine с последующим переделом железоуглеродистого полупродукта в конвертере или ДСП и установке печь-ковш [2]. Возможна утилизация восстановительного потенциала части газов процесса для дополнительного получения металлизированного сырья способом Midrex.

На новой технологической и технической базе получают развитие непрерывные сталеплавильные процессы, идея которых возникла более 100 лет назад. Примером является предприятие в Монтеррее (Мексика), где реализована следующая технологическая схема [3]:

— производство HBI в шахтной печи процессом HYL;