

РОЗДІЛ «МЕТАЛУРГІЯ. ЗВАРЮВАННЯ»

УДК 669.162

СИГАРЕВ Е.Н., д.т.н., профессор
БАЙДУЖ Ю.В., аспірант
ЧУБИН К.И., к.т.н., доцент
ГУРЖИЙ Д.О., аспірант

Днепродзержинский государственный технический университет

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОГРУЖНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ФУРМЫ

Введение. В большинстве мировых металлургических стран и в Украине определена приоритетная роль ковшовой обработки чугуна и стали как звена, определяющего качество готовой металлопродукции на технологическом маршруте «доменная печь – конвертер – МНЛЗ». При этом ресурсо- и энергетические затраты на выплавку в доменных печах и ковшовое рафинирование передельного чугуна перед заливкой в конвертер могут быть изменены в широких пределах путем модернизации оборудования и совершенствования технологий.

Постановка задачи. Технологический маршрут «доменная печь – кислородный конвертер» производства металлопродукции в условиях ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» состоит из следующих основных звеньев. В доменных печах выплавляется передельный чугун с расходом кокса в среднем 492,8 кг/т чугуна и выходом шлака 445 кг/т чугуна с основностью 1,24. Передельный чугун с температурой не ниже 1320⁰С и химическим составом 0,70-1,10% Si, 0,20-0,60% Mn, не более 0,040% S и 0,15% P сливается в миксер.

При необходимости уменьшения содержания серы в передельном чугуне менее 0,020% S перед миксером используют установку десульфурации чугуна мартеновского цеха. В качестве реагента применяются слитки пассивированного магния с содержанием активного магния 86% и степенью использования 20-40% при массе обрабатываемого чугуна 60-110 т.

В конвертерный цех в составе 6-ти 160-т конвертеров с верхней продувкой поставляется передельный чугун с широким диапазоном колебаний по составу (Si=0,76-1,15%; Mn=0,22-0,47%; S=0,022-0,029%; P=0,067-0,079%) и температуре (1300-1346⁰С) перед заливкой в конвертер, что не всегда соответствует нижнему пределу (1320⁰С), предусмотренному технологической инструкцией ТИ-228-КК-07-2010. В силу сложившихся условий применяемая в конвертерном цехе технология характеризуется рядом недостатков:

- в отличие от современных технологий, в конвертере осуществляется продувка ванны с максимальным удалением S и P непосредственно при продувке. Переокисление металла и шлака в результате проведения додувки для повышения температуры металла (75-85% от всех плавов) или уменьшения фосфора приводит к перерасходу ферросплавов и снижению выхода годного;

- с целью экономии чугуна шихтовка ведется с повышенным расходом лома и скрапа (23,0-24,5% от веса металлошихты). При этом количество плавов с температурой заливаемого чугуна ниже 1320⁰С достигает 45-50% от общего;

- сложности в обеспечении требуемого уровня десульфурации, даже при промежуточном скачивании шлака, значительный расход извести (65-73 кг/т стали);

- работа с промежуточным скачиванием шлака (на 7-10 мин продувки), присадкой доломита и формированием в процессе продувки шлака с повышенным содержанием оксида магния (8-12% MgO) сопровождаются «сварчиванием» шлака, ухудшением

удаления S и P, усилением выноса с образованием настывли на стволе фурмы с последующей ее обрезкой (3-4 операции в смену) и, зачастую, выведением фурмы из эксплуатации.

Последующая ковшовая обработка выпускаемого из конвертера железуглеродистого полупродукта с доведением его по составу и температуре до заданной марки стали, перед разливкой стали на МНЛЗ, производится на установке ковш-печь (УКП).

По результатам анализа комплекса исследований [1-5] выплавку качественного железуглеродистого полупродукта предлагается осуществлять по новому технологическому маршруту, включающему этапы:

- доменной плавки со шлаками пониженной до 1,10 основности (CaO/SiO_2) с применением безмарганцовистой железосодержащей шихты. В таком режиме работы обеспечивается выплавка чугуна пониженной стоимости с концентрациями Mn 0,11-0,27%, Si 0,50-0,60% и повышенным содержанием серы S 0,040-0,065%;

- ковшовой десульфурации чугуна с вдуванием диспергированного магния через вращающуюся погружную фурму [1, 2];

- передела десульфурованного чугуна (0,003-0,005% S) в конвертерах с верхней [3] либо комбинированной продувкой ванны через двухъярусные кислородные фурмы с частичным дожиганием отходящих газов [4] и модернизированной системой охлаждения;

- нанесения шлакового гарнисажа на футеровку посредством раздувки конечного шлака перемещающимися газопорошковыми струями, формируемыми с помощью газоохлаждаемых гарнисажных фурм [5].

Реализация предложенного технологического маршрута требует предварительной оценки его ресурсо- и энергоэффективности в сложившихся технических и сырьевых условиях работы комбината.

Результаты работы. В соответствии с предложением ковшовую десульфурацию передельного чугуна предлагается осуществлять на модернизированной установке десульфурации в заливочных ковшах [1] вдуванием диспергированного магния (0,10-0,19 кг/(т·мин)) в потоке азота (0,015-0,018 м³/(т·мин)) через двусопловую вращающуюся фурму. Для стабилизации результатов десульфурации (в условиях переменных параметров обработки), исключения возможности возврата серы в расплав и улучшения удаления сернистых шлаков предусмотрена корректировка состава ковшовых шлаков путем добавки фракционированных материалов (1,5-2,0 кг/т чугуна) на основе дешевых отходов огнеупорно-металлургических производств.

Ожидаемым техническим результатом использования предложенной конструкции установки [1] и технологии десульфурации [2] с использованием погружной вращающейся фурмы являются:

- обеспечение устойчивого и равномерного ввода диспергированного магния с интенсивностью свыше 20 кг/мин за счет увеличения межфазной поверхности контакта газомagneиных пузырей с расплавом;

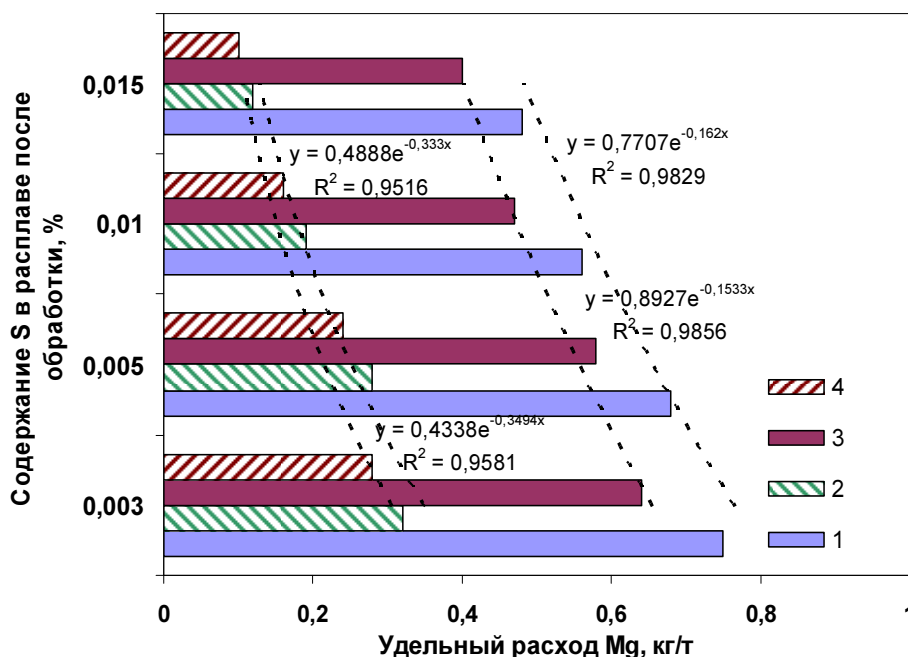
- снижение потерь вдуваемого магния за счет предотвращения прорыва газомagneиных потоков на поверхность ванны;

- обеспечение технологичных и безопасных условий обработки чугуна в ковше без выплесков расплава при высоте свободного пространства над поверхностью ванны вплоть до 200-250 мм;

- удельный расход магния снижается на 0,08-0,15 кг/т чугуна, а продолжительность собственно вдувания магния – на 0,5-1,8 мин;

- степень использования магния на серу повышается на 10-19%.

Сравнение ожидаемых показателей предлагаемой технологии десульфурации чугуна с вращающейся погружной фурмой [1] с показателями украинской технологии (ИЧМ-Desmag, г. Днепропетровск) [6] приведено на рис.1.



1, 3 – способ «ИЧМ-Desmag» [6] для $[S]_{\text{нач}}=0,065$ и $0,020\%$ соответственно;
 2, 4 – вращающаяся фурма [1] для $[S]_{\text{нач}}=0,065$ и $0,020\%$ соответственно

Рисунок 1 – Удельный расход гранулированного магния в зависимости от глубины удаления серы и способа ввода реагента

Для определения требуемой для достижения заданной глубины удаления серы в ковше с вращающейся фурмой продолжительности вдувания магния (τ) рекомендуется использовать эмпирические выражения (рис.2):

- в диапазоне $[S]_{\text{н}}=0,020-0,025\%$ $\tau = 2,29 \cdot e^{-0,19[S]_{\text{н}}}$;

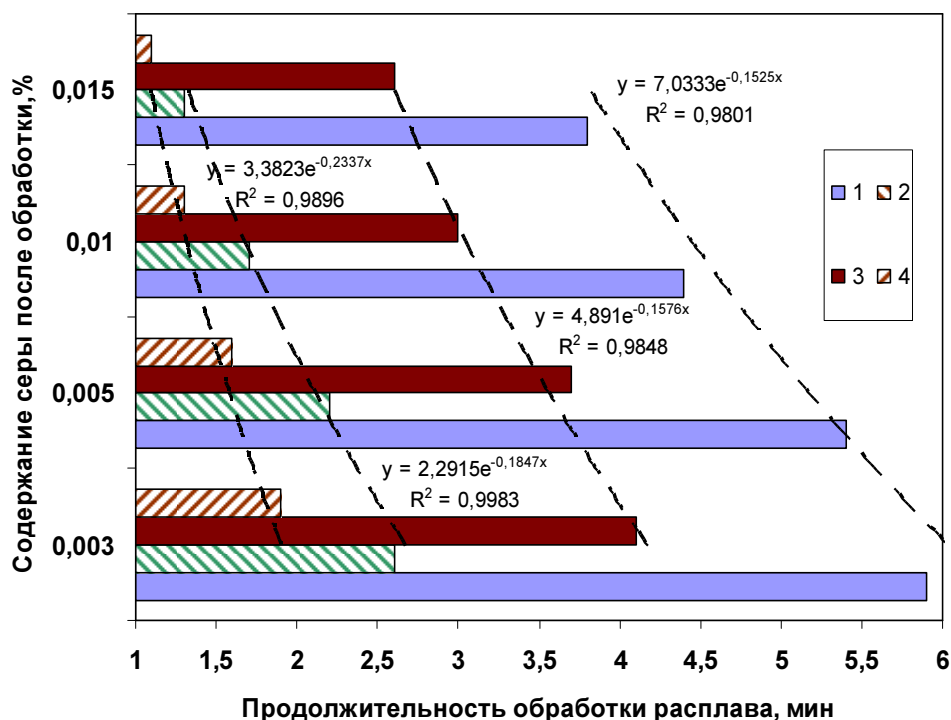
- в диапазоне $[S]_{\text{н}}=0,025-0,065\%$ $\tau = 4,91 \cdot e^{-0,15[S]_{\text{н}}}$.

При использовании в конвертерной плавке десульфурованного чугуна расход извести сокращается на 8-16 кг/т стали в сравнении со штатной технологией. Частичное дожигание отходящих газов (3-5%) при использовании двухъярусной фурмы обеспечивает увеличение расхода лома в шихте на 15,1 кг/т при снижении расхода жидкого чугуна на 16,2 кг/т металла.

Для дальнейшего повышения стойкости футеровки конвертеров после выпуска железоуглеродистого полупродукта в сталеразливочный ковш производится нанесение шлакового гарнисажа на футеровку путем раздувки конечного шлака газопорошковыми струями, несущими необожженный доломит, с использованием вращающейся гарнисажной фурмы [5].

В соответствии с результатами выполненных расчетов при работе доменной печи на шлаках пониженной основности обеспечивается уменьшение расхода кокса на 17 кг/т, известняка – на 8 кг/т, выхода шлака – на 35 кг/т чугуна с повышением производительности на 4%. Себестоимость чугуна уменьшается на 0,75%, сокращение энергозатрат составляет 390 МДж/т чугуна.

Данные десульфурации чугуна в заливочных ковшах вдуванием гранулированного магния по технологии «ИЧМ-Desmag» [6], смеси на основе порошкообразной из-



1, 3 – способ «ИЧМ-Desmag» [6] для $[S]_{нач}=0,065$ и $0,020\%$ соответственно;
 2, 4 – вращающаяся фурма [1] для $[S]_{нач}=0,065$ и $0,020\%$ соответственно

Рисунок 2 – Требуемая продолжительность обработки расплава в зависимости от глубины удаления серы и способа ввода реагента

вести с магнием по технологии «Krupp Polysius» [7] и присадки извести с перемешиванием ванны импеллером (KR-процесс) [8] позволили оценить ресурсо- и энергоэффективность предложенной технологии десульфурации с использованием вращающейся фурмы [1, 2] (табл.1).

Таблица 1 – Затраты на десульфурацию чугуна в 130-т заливочном ковше

№	Показатель	Обработка 130 т передельного чугуна		
		Смесь СаО и Mg, Германия [7]	KR-процесс, Япония [8]	Вдувание Mg - вращ. фурма, Украина [1]
1	2	3	4	5
1	Расход реагентов, кг/т чугуна, в т.ч.:			
	- известь	2,82	8,40	-
	- плавиковый шпат	-	1,10	-
	- магний	0,69	-	0,50
	- всего реагентов	3,51	9,50	0,50
2	Содержание [S] (до/после), %:	0,045/0,005	0,045/0,005	0,045/0,005
3	Количество дополнительно образующегося в ковше шлака, кг/т чугуна	7,80	18,0	1,20
4	Потери чугуна с дополнительно образующимся шлаком, кг/т чугуна	3,96	10,85	1,84
5	Снижение температуры чугуна, °C	10	42	4

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
6	Затраты, €/т чугуна:			
	а) на реагенты	2,84	1,93	1,22
	б) на потери чугуна с дополнительным шлаком и утилизацию шлака	1,64	3,46	0,34
	в) на потери температуры чугуна	1,63	0,68	0,07
	г) на погружную фурму (импеллер)	1,51	0,065	0,14
7	Суммарные затраты на обработку (по п.п. "а-д"), €/т чугуна	4,79	6,13	1,76

В соответствии с расчетами в таком варианте [1] при наименьших затратах на десульфурацию (1,76 €/т чугуна), сокращении потерь чугуна со скачиваемым шлаком, минимальных потерях тепла и продолжительности обработки энергозатраты на десульфурацию (до 0,005% S) на 67,99 МДж/т чугуна меньше затрат по технологии «Krupp Polysius» (Германия) [6] и на 23,45 МДж/т – по KR-процессу (Япония) [8] (табл.2).

Таблица 2 – Энергозатраты (Э) на десульфурацию чугуна в 130-т заливочном ковше

№	Показатель	Обработка 130 т передельного чугуна					
		Вдувание смеси СаО и Mg [7]		KR-процесс [8]		Вдувание Mg (вращ. фурма) [1]	
		ед./т	Э, МДж/т	ед./т	Э, МДж/т	ед./т	Э, МДж/т
1	Расход реагентов, кг/т чугуна, в т.ч.:						
	- известь	2,82	23,38	8,40	69,64	-	0
	- плакиковый шпат	-	0	1,10	1,10	-	0
	- магний	0,69	129,87	-	0	0,50	87,75
2	Содержание [S] (до/после), %:	0,045/ 0,005	-	0,045/ 0,005	-	0,045/ 0,005	-
3	Расход азотаносителя, м ³ /т чугуна	0,45	1,50	-	0	0,12	0,40
4	Расход электроэнергии, кВт/ч/т	-	0	0,72	0,08	0,46	0,05
5	ΔT _{чуг.} , °С	10	14,0	42	58,80	4	5,60
6	Расход футеровки фурмы (импеллера), кг/т чугуна	1,51	24,92	0,65	10,73	1,40	23,10
7	Σ энергозатраты на десульфурацию чугуна, МДж/т	184,89		140,35		116,90	

Сравнение материально-энергетических балансов штатной и предлагаемой технологии конвертерной плавки представлено в табл.3. Суммарное уменьшение энергозатрат на производство стали составит 461,0 МДж/т стали. В случае применения технологии нанесения шлакового гарнисажа [5] снижение энергозатрат (на 239,11 МДж/т) обеспечивается применением менее энергоемких магниезальных добавок, исключением расхода воды на охлаждение гарнисажной фурмы, сокращением продолжительности раздувки и т.п.

Таблица 3 – Материально-энергетический баланс выплавки стали в 160-т конвертере по штатной (ШТ) и предлагаемой [3-5] (ПТ) технологии

№ пп	Наименование статьи расхода	Удельный расход, ед./т		Δ уд. расхода, ед./т	Δ уд. энергозатрат, МДж/т
		ШТ	ПТ		
1.	Чугун, кг/т	852,50	836,30	-16,20	+400,10
2.	Лом и скрап, кг/т	260,0	285,10	+15,10	-107,20
3.	Уголь (АС), кг/т	1,91	1,07	-0,84	-26,04
4.	Известь, кг/т	65,10	52,60	-12,50	+67,50
5.	MgO флюс, кг/т	2,75	0	-2,75	+7,84
6.	Раскислители, кг/т	8,83	8,10	-0,73	+40,15
7.	Кислород, м ³ /т	46,10	44,10	-2,0	+13,60
8.	Δ степени дожигаия	0	5,0	+5,0	+35,60
9.	T _{чуг} , °С	1328	1320	-8,0	-11,20
10.	Расход огнеупоров, кг/т	2,62	1,14	-1,48	+24,42
11.	τ продувки, мин	18 ³⁰	18 ⁰⁰	-0,5	+1,43
12.	Выход шлака, кг/т	100,0	81,25	-18,75	+21,38
13.	Содержание (FeO) _к , %	20,0	18,0	-2,0	-6,76
14.	Суммарный энергоэф-фект, ГДж/т	+0,461			

Выводы. В соответствии с расчетами суммарное сокращение энергетических затрат на выплавку чугуна в доменной печи, ковшовую десульфурацию чугуна, получение железоуглеродистого полупродукта в конвертере и ошлакование футеровки агрегата по предложенному технологическому маршруту в сравнении с комплексом штатных технологий составляет 0,973 ГДж/т стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 79507 Україна, МПК С21С 1/02 (2006.01). Спосіб десульфуратії чавуну диспергованим магнієм у заливальному ковші / А.Г.Чернятевич, Є.М.Сігарьов, К.І.Чубін, О.А.Чубіна, С.О.Зарандія; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № у 2012 11963; заявл. 17.10.12; опубл. 25.04.13, Бюл. № 8.
2. Desulfurization of hot metal by the injection of disperse magnesium through a submerged rotating / E.N.Sigarev, A.G.Chernyatevich, K.I.Chubin [e.a.] // Steel in Translation – 2011. – Vol. 41, N. 6. – P.P.487-491.
3. Чернятевич И.В. Современное состояние и направления совершенствования конструкций кислородных фурм для продувки конвертерной ванны / И.В.Чернятевич, Е.Н.Сигарев, А.Г.Чернятевич // Бюллетень «Черная металлургия». – ОАО «Черметинформация». – 2008. – №12. – С.23-27.
4. Перспективные направления в применении двухъярусных кислородных фурм / А.Г.Величко, А.Г.Чернятевич, Е.Н.Сигарев [и др.] // Бюллетень «Черная металлургия». – ОАО «Черметинформация». – 2012. – №10. – С.17-21.
5. Освоение технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера путем раздувки шлака перемещающимися газопорошковыми струями / А.Г.Чернятевич, Е.Н.Сигарев, В.А.Шеремет [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – №2. – С.15-20.
6. Создание и промышленное применение современных аппаратурно-технологических комплексов десульфурации чугуна на металлургических комбинатах Китая / В.И.Больш

- шаков, А.Ф.Шевченко, В.А.Александров [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – № 4. – С.6-11.
7. Десульфурация чугуна в кислородно-конвертерном цехе ОАО «Алчевский металлургический комбинат» / А.М.Зборщик, С.В.Куберский, Г.Я.Довгалюк и [др.] // *Металл и литье Украины*. – 2010. – №7. – С.9-12.
8. Gardsdon B. Hot metal desulphurization: benefits of magnesium lime co-injection / V.Gardsdon, X.Han // *Millenium Steel*. – 2010. – P.P.31-36.

Поступила в редколлегию 22.09.2015.

УДК 669.162

СИГАРЕВ Е.Н., д.т.н., профессор
НЕДБАЙЛО Н.Н., аспирант
СИГАРЕВ Н.К., к.т.н., доцент
МАЛАШОНОК С.Л., магистр

Днепродзержинский государственный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИЯ В СХЕМЕ КОМПЛЕКСНОГО КОВШОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ РАСПЛАВА

Введение. При выплавке в Украине в соответствии с сырьевой базой передельных низкомарганцовистых чугунов, содержащих в среднем 0,6-1,4% Si, 0,1-0,3% Mn, 0,22-0,065% S и 0,035-0,060% P, целесообразно реализовать предварительное комплексное рафинирование передельного чугуна в заливочных ковшах перед заливкой в сталеплавильный агрегат. Основной целью комплексного рафинирования является осуществление в рабочем объеме заливочного ковша одновременного удаления Si и S из расплава чугуна с компенсацией снижения его температуры.

Постановка задачи. Экспериментально подтверждена [1] возможность формирования в рабочем объеме ковша обособленных реакционных зон с отдельным преимущественным удалением в пределах последних кремния с 0,8-1,4% до 0,15-0,30% и серы с 0,040-0,060% до 0,005-0,010%.

Промышленная реализация разработанной технологической схемы [2] ковшовой обработки расплава передельного чугуна путем продувки через две погружные фурмы кислородно-азотными и азотными струями, несущими во взвешенном состоянии порошкообразную доломитизированную известь и диспергированный магний соответственно, требует теоретического обоснования целесообразности использования магния в качестве десульфуратора.

С учетом возможности модернизации приобретенных рядом металлургических предприятий Украины установок десульфурации чугуна фирм «ESM» (США) и «Krupp Polysius» (Германия), известных недостатков применения двухкамерных ковшей для организации одновременного обескремнивания и десульфурации чугуна [3, 4], возможности замены порошкообразного алюминия на более дешевый и безопасный чушковый и природного газа на азот рафинирование чугуна по кремнию и сере перед конвертерным переделом предлагается организовать по усовершенствованной схеме [5].

В качестве базовой для модернизации предлагается использование технологии и оборудования фирмы «ESM» (США) [6], предусматривающей вдувание порошкообразных десульфураторов (смесь флюидизированной извести с гранулированным магнием) в расплав через две погружные фурмы. Фурмы связаны с двумя работающими независимо одна от другой коинжекционными системами, что, как установлено, позволяет снизить время десульфурации, в среднем, на 45% в сравнении с однофурменной системой.