

П.С. Харлашин, Ю.С. Коломийцева, В.М. Бакланский, П.А. Плохих

Приазовский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НИЗКОСЕРНИСТОГО ЧУГУНА И РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ В КОВШЕ

В настоящее время в условиях конкуренции на рынке черных металлов и повышенных требований к качеству металла проблема выплавки стали с низким содержанием серы является актуальной. С целью разработки ресурсосберегающей технологии производства низкосернистых сталей с массовой долей серы $\leq 0,02$ и $\leq 0,006$ % и определения наиболее рационального метода использования обессеренного магнием чугуна были выполнены исследования при различных способах десульфурации стали в ковше. Для определения эффективности десульфурации провели сравнительные плавки:

- без обработки стали в ковше (вариант 1);
- с обработкой твердой шлакообразующей смесью – ТШС (вариант 2);
- с обработкой синтетическим шлаком – СШ (вариант 3);
- с обработкой совместно ТШС и СШ (вариант 4).

На опытных плавках контроль параметров десульфурации начинался с повалки конвертера и заканчивался при обработке стали в ковше аргоном. При обработке стали в ковше использовали твердую шлакообразующую смесь (фракции до 0,005 м), состоящую из 76 – 78 % извести и 22 – 24 % плавикового шпата, использовали также синтетический шлак состава 47 – 52 % CaO; 32 – 39 % Al₂O₃; 3 – 7 % SiO₂; 10 – 14 % MgO; до 1,5 % (MnO + FeO); 4 – 6 % TiO₂; до 0,035 % S.

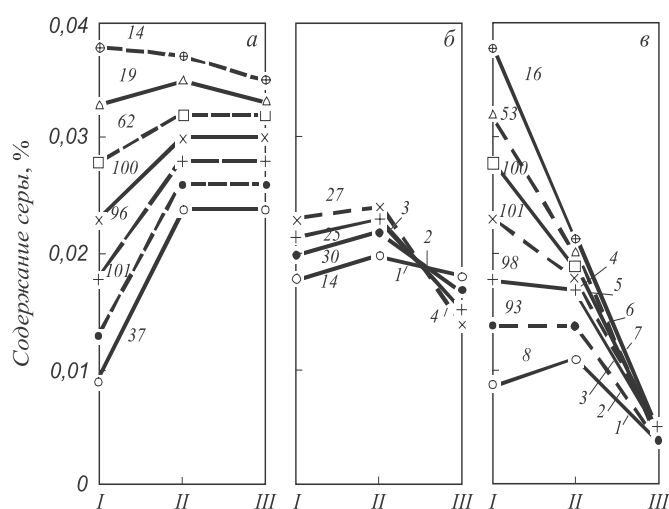
Изучили влияние на содержание серы в продутом металле таких технологических факторов, как массовая доля серы в металлошихте ($[S]_{\text{мш}}$), массовый расход извести ($g_{\text{изв}}$, кг/т) и плавикового шпата ($g_{\text{пш}}$), температура чугуна. Определяли концентрацию серы в готовой стали ($[S]_{\text{гс}}$) и в продутом металле ($[S]_{\text{пв}}$); основность конечного конвертерного шлака ($B_{\text{пв}}$), поступающего в ковш при сливе полупродукта из конвертера, и содержания в нем серы ($S_{\text{ш}}$); удельный расход синтетического шлака ($g_{\text{сш}}$) и твердой шлакообразующей смеси ($g_{\text{тшс}}$). Уравнение регрессии имеет вид [1]

$$[S]_{\text{гс}} = [S]_{\text{мш}} + K_{\text{пв}} [S]_{\text{пв}} + K_{\text{пв}} B_{\text{пв}} + K_{\text{ш}} (S)_{\text{ш}} + K_{\text{сш}} g_{\text{сш}} + K_{\text{тшс}} g_{\text{тшс}}; \quad (1)$$

здесь K_i – коэффициенты регрессии.

Для выявления характера изменения содержания серы в чугуне $[S]_{\text{ч}}$, в продутом металле (на повалке конвертера $[S]_{\text{пв}}$) и в готовой стали $[S]_{\text{гс}}$ построили диаграмму (см. рисунок), данные которой показывают, что при использовании обессеренного гранулированным магнием чугуна, отсортированного лома ($[S]_{\text{л}} = 0,02 - 0,03$ %) и при скачивании ковшового шлака перед сливом чугуна в конвертер в период продувки ванны кислородом имеет место рост содержания серы в металлическом расплаве. Чем ниже содержание серы в чугуне и меньше основность конечного шлака, тем выше ее содержание в продутом металле.

Основные технологические показатели опытных плавок без обработки стали в ковше показывают, что в продутом металле массовая доля серы составила 0,022 %, в готовом металле 0,020 %, тогда $\Delta[S] = [S]_{\text{пр}} - [S]_{\text{гс}} = 0,002$ %. Серия проведенных аналогичных опытных плавок (для стали 17Г1СУ) показывает, что



Изменение массовой доли серы в чугуне (I), в стали на повалке конвертера (II) и в готовом металле (III) при выплавке рядовых (а), качественных (б), высококачественных (в) сталей. Цифры у кривых: слева – число плавок, справа на позиции б: 1 – плавки, проведенные без обработки, 2 – с обработкой стали в ковше твердой шлакообразующей смесью, 3 – синтетическим шлаком, 4 – совместно шлаком и смесью; на позиции в – расход синтетического шлака, кг/т литых слябов: 1 – 8,0; 2 – 30,4; 3 – 33,4; 4 – 34,0; 5 – 33,5; 6 – 35,8; 7 – 38,0

среднее значение $\Delta[S]$ по данным 14 опытных плавов составило 0,002 %.

При среднем значении $[S]_ч = 0,018$ % на повалке конвертера содержание серы составило 0,020 %, в готовой стали – 0,018 %. Существенное влияние на содержание серы в готовом металле оказывает значение $[S]_{пв}$ при коэффициенте регрессии $K'_{с пв} = 0,51$, доли влияния фактора $d'_{с пв} = 0,39$, коэффициенте парной корреляции $r'_{с пв} = 0,605$. Рост величины $[S]_{пв}$ на 0,002 % ведет к увеличению значения $[S]_{гс}$ на 0,001 %; здесь соблюдается условие $[S]_ч \approx [S]_{гс}$.

По каждой плавке в отдельности содержание серы в готовом металле можно рассчитать по балансовому уравнению [2]

$$[S]_{гс} = \frac{M_{мш} [S]_{мш} + M_{шк} (S)_{шк} + \sum (M_i S_i)_{\phi}}{M'_{жм} \frac{1 + (S)}{[S] f_{[S]}} \left(1 - \Theta_s \frac{M'_{ш}}{M'_{жм}} \right)}, \quad (2)$$

в котором $M_{мш}$ – масса металлошихты, т; $[S]_{мш}$ – содержание серы в металлошихте, %; $M_{шк}$ – масса ковшового шлака, попавшего в конвертер при сливе чугуна, т; $(S)_{шк}$ – содержание серы в ковшовом шлаке, %; $\sum (M_i S_i)_{\phi}$ – масса и содержание серы в добавочных материалах (флюсах); $M'_{жм}$ – масса жидкого металла после продувки, т; $f_{[S]}$ – коэффициент активности серы в металлическом расплаве; $1 - \Theta_s$ – величина приближения системы шлак – металл к равновесию по содержанию серы; $M'_{ш}$ – масса конечного шлака, т.

Производственные результаты анализа паспортов плавов сталей, обработанных в ковше ТШС (в количестве 2 – 4 кг/т литых слябов), при средней массовой доле серы в чугуне 0,020 % в продутом металле имеют 0,022 % S, а в готовой стали 0,017 % S. Степень десульфурации составила 22,7 %, что в 2,5 раза больше, чем по варианту без обработки металла в ковше. Теоретический расчет показывает, что при вводе 1 кг/т стали ТШС снижение содержания серы составляет 0,00083 %. Значительное влияние на содержание

серы в готовом металле оказывает показатель $[S]_{пв}$ при значениях $r'_{с пв} = 0,522$, $K'_{с пв} = 0,455$, $d'_{с пв} = 0,294$. Рост массовой доли серы в металле в конце продувки конвертерной ванны на 0,002 % ведет к увеличению ее содержания в готовой стали примерно на 0,001 %. Использование ТШС в количестве 3,12 кг/т стали позволило уменьшить массовую долю серы в готовом металле на 0,001 %, т.е. при расходе ТШС в количестве 1 кг/т стали снижается массовая доля серы в готовом металле в среднем на 0,00032 %. Для более эффективного использования ТШС как десульфуратора необходимо, чтобы во время обработки стали сформировавшийся шлак обладал низкой окислительной способностью [3].

Анализ плавов, проведенных с использованием синтетического шлака, показал, что снижение массовой доли серы в металлическом расплаве $\Delta[S] = [S]_{пв} - [S]_{гс}$ составило 0,008 % (степень десульфурации 33,3 %), что превысило в 1,6 раза аналогичный показатель на плавках, проведенных с обработкой металла твердой шлакообразующей смесью. На 1 кг введенного синтетического шлака снижение массовой доли серы составило 0,000515 %, что ниже в 1,62 раза, чем при использовании ТШС. Рост значения $[S]_{пв}$ на 0,003 % приведет к увеличению показателя $[S]_{гс}$ на 0,001 % (при $r'_{с пв} = 0,494$, $K'_{с пв} = 0,329$, $d'_{с пв} = 0,23$). Применение синтетического шлака позволило снизить массовую долю серы в готовом металле примерно на 0,00036 %, т.е. практически незначительно, и примерно в 3 раза меньше, чем при использовании ТШС. Это обусловлено, очевидно, тем, что при сливе продутого металла из конвертера сталеплавильный шлак пока еще достаточно полно не отсекается.

Исследование десульфурации при совместной обработке стали в ковше ТШС и СШ подтвердило, что этот вариант является наиболее эффективным.

В таблице приведены основные технологические показатели десульфурации при использовании СШ, ТШС и СШ + ТШС. Сравнивая эффективность десульфурации различных вариантов, установили, что при

Основные технологические показатели десульфурации чугуна

Плав-ка	Массовая доля серы, %									$q_{гсш}$, кг/т	$q_{сш}$, кг/т	Массовая доля серы, %		
	[S] _ч	[S] _{пв}	[S] _{гс}	[S] _ч	[S] _{пв}	[S] _{гс}	[S] _ч	[S] _{пв}	[S] _{гс}			[S] _ч	[S] _{пв}	[S] _{гс}
	Обработка ТШС			Обработка СШ			Обработка ТШС + СШ					Без обработки		
1	0,0282	0,019	0,016	0,025	0,025	0,012	0,024	0,024	0,014	2,23	6,62	0,019	0,019	0,015
2	0,0088	0,015	0,016	0,024	0,022	0,011	0,022	0,027	0,011	2,40	4,10	0,019	0,020	0,018
3	0,014	0,022	0,014	0,022	0,024	0,013	0,024	0,027	0,017	0,87	6,00	0,025	0,020	0,017
4	0,026	0,019	0,016	0,019	0,022	0,012	0,021	0,023	0,014	2,31	7,83	0,018	0,019	0,016
5	0,009	0,019	0,015	0,020	0,025	0,015	0,024	0,023	0,013	2,27	8,09	0,020	0,020	0,018
6	0,008	0,019	0,012	0,020	0,023	0,012	0,021	0,025	0,015	1,22	5,30	0,017	0,017	0,015
7	0,008	0,017	0,017	0,022	0,026	0,014	0,025	0,027	0,013	2,05	4,65	0,014	0,019	0,019
8	0,010	0,021	0,017	0,021	0,023	0,017	0,026	0,026	0,015	2,18	8,77	0,024	0,019	0,019
9	0,010	0,019	0,018	0,030	0,025	0,019	0,028	0,028	0,011	2,06	11,08	0,014	0,018	0,016

обработке металла в ковше вышеуказанными материалами снижение массовой доли серы в металлическом расплаве составило 0,004, 0,0081, 0,010 %. Отсюда степень десульфурации стали возросла в сопоставлении со сравнительным вариантом ($D[S] = 0,002$ %) в 1,82, 3,48, 4,17 раза соответственно.

По результатам проведенных исследований были разработаны рекомендации для выплавки стали с гарантированной массовой долей серы в готовом металле не более 0,02 %.

При массовой доле серы в чугуна 0,028 – 0,035 % рекомендуется обрабатывать сталь в ковше синтетическим шлаком и твердой шлакообразующей смесью с массовым расходом 20 – 25 и 4 – 5 кг/т жидкой стали соответственно; при $[S]_ч = 0,025 – 0,027$ % целесообразно обрабатывать металл в ковше СШ и ТШС, расход которых составляет 14 – 18 и 3 – 4 кг/т; при $[S]_ч = 0,021 – 0,024$ % рекомендуется продутый в конвертере металл обрабатывать СШ с расходом 14 – 18 кг/т; при $[S]_ч = 0,016 – 0,020$ % рекомендуется обрабатывать сталь ТШС с массовым расходом 3 – 4 кг/т; при $[S]_ч < 0,015$ % сталь в ковше можно не обрабатывать вообще.

Обязательным и весьма важным условием при этом является недопущение попадания ковшового шлака при сливе чугуна в конвертер; применение отсортированного лома; при сливе стали из конвертера в стале-

разливочный ковш (где уже имеется СШ) необходимо не допускать попадание конвертерного (окисленного) шлака, негативное действие которого значительно снижает эффективность использования синтетического шлака.

Выводы. Рассмотрены различные способы десульфурации стали в ковше. По результатам проведенных исследований разработаны рекомендации для выплавки стали с гарантированной массовой долей серы в готовом металле не более 0,02 и 0,006 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харлашин П.С., Меджибожский М.Я. Теоретические основы сталеплавильных процессов. – Киев: НМК ВО-К., 1992. – 252 с.
2. Термодинамика металлургических расплавов / П.С. Харлашин, Т.Г. Сабирзянов, В.И. Бондарь и др. // Тезисы докладов XI региональной научно-технической конференции. – Мариуполь: изд. Приазовского государственного технического ун-та, 2004. – 264 с.
3. Харлашин П.С. Оценка эффективности десульфурации при обработке стали в ковше твердой шлакообразующей смесью // Тезисы докладов VII региональной научно-технической конференции. – Мариуполь: изд. Приазовского государственного технического ун-та, 2000. Т. 1. С. 88.

© 2012 г. П.С. Харлашин, Ю.С. Коломийцева,
В.М. Бакланский, П.А. Плохих
Поступила 2 сентября 2010 г.