

УДК 669.18.046.5

Казачков Е.А.¹, Чепурной А.Д.², Юшкова М.Г.³, Шумаков М.А.⁴, Зюбрев С.И.⁵

ПРОЦЕСС ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА УСТАНОВКЕ «КОВШ-ПЕЧЬ»

Рассмотрены особенности процесса десульфурации электростали на установке ковш-печь. Проанализировано влияние состава шлака, продолжительности обработки, условий перемешивания аргоном и количества шлака на степень десульфурации стали.

В настоящее время особо низкое содержание серы в металле чаще всего достигается путем десульфурации на установке «ковш-печь» (УКП). Основными факторами, определяющими эффективность этого процесса, являются состав, количество и режим формирования рафинировочного шлака, состав металла, интенсивность перемешивания металла и шлака, продолжительность обработки, вид футеровки ковша. Оптимизация указанных технологических факторов способствует повышению эффективности процесса десульфурации [1 – 3].

Равновесный коэффициент распределения серы между шлаком и металлом L'_s , характеризующий наибольшую степень десульфурации, можно выразить эмпирическим уравнением [4]

$$L'_s = -2,78 + 0,86 \{[(CaO) + 0,05 (MgO)] / [(SiO_2) + 0,6(Al_2O_3)]\} - \lg a_0 + \lg f_s \quad (1)$$

где (CaO) и др. – содержание соответствующих оксидов в шлаке;

a_0 – активность кислорода в металле;

f_s – коэффициент активности серы в металле.

Практика глубокой десульфурации стали ($\leq 0,005$ % S) на УКП показывает прежде всего на необходимость низкого содержания $(FeO + MnO) \leq 1,0$ % [2 – 8]. При этом из опыта выплавки стали в ДСП известно, что высокораскисленные белые шлаки на УКП можно получать только при работе на низких ступенях напряжения трансформатора.

Цель работы состоит в комплексном анализе влияния многих технологических факторов на процесс распределения серы между металлом и шлаком при обработке стали на УКП.

Зависимость коэффициента распределения серы между шлаком и металлом L_s от содержания $(FeO + MnO)$ представлена на рис. 1 [3]. Показано, что величина L_s может изменяться в очень широких пределах при относительно узком интервале изменения $(FeO + MnO)$ в высокоосновном шлаке. При содержании в шлаке $(FeO + MnO) < 1$ для получения коэффициента $L_s \geq 120$ необходимо, чтобы основность шлака $B = 3,5 - 4,0$ (рис. 2).

Получаемые при обработке металла на УКП величины L_s далеки от равновесных и определяются кинетическими параметрами процесса обработки, при которых продолжительность обработки и поверхность контакта металл-шлак лимитируют достижение максимального эффекта десульфурации.

Значения L_s зависят не только от состава и жидкоподвижности шлака, но и от продолжительности обработки на УКП, а также условий перемешивания металла и шлака вдуваемым газом. Исследования [9] показали, что при совмещении процессов нагрева и десульфурации продолжительность обработки металла на УКП должна быть не менее 40 мин (рис. 3).

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ОАО «ГСКТИ», д-р техн. наук, проф.

³ОАО «Азовмаш», инж.

⁴ОАО «Азовмаш», инж.

⁵ОАО «ГСКТИ», аспирант

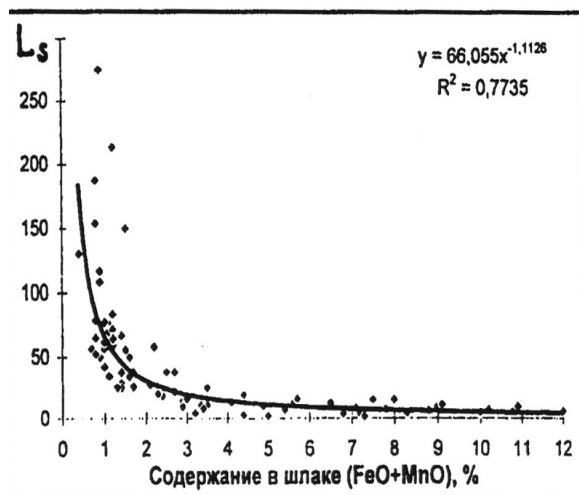


Рис. 1 – Зависимость коэффициента распределения серы от содержания в шлаке (FeO+MnO)

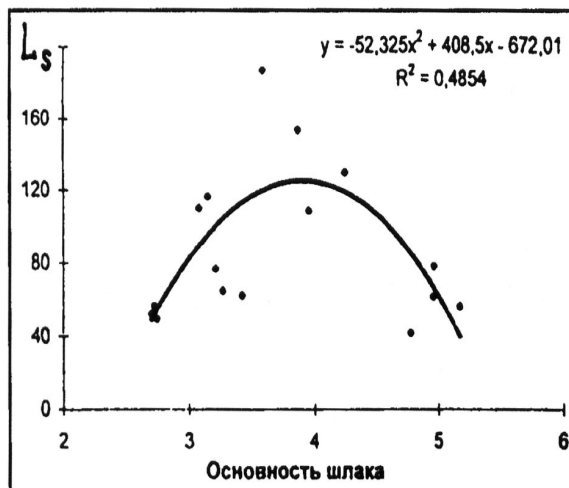


Рис. 2 – Зависимость коэффициента распределения серы от основности шлака

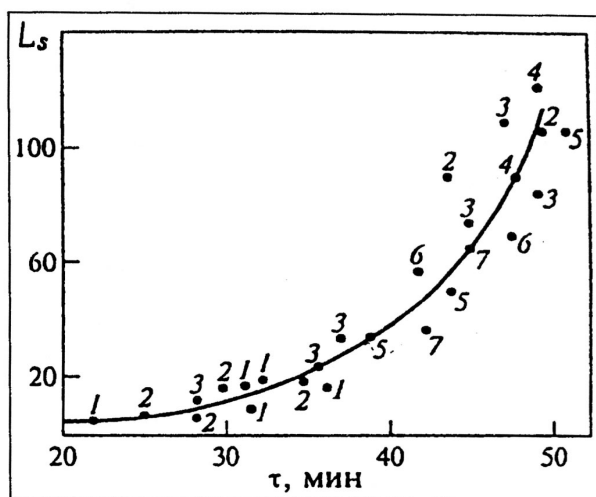


Рис. 3 – Зависимость коэффициента распределения серы от продолжительности обработки металла на УКП (цифры у точек – количество плавов; расход шлакообразующей смеси – 15 кг/т)

Реально на разных металлургических предприятиях она обычно колеблется от 40 до 60 мин и определяется не только условиями нагрева и десульфурации, но и циклом разливки металла на УНРС. Очередность и порционность подачи порошкообразных (извести и кокса) и кусковых материалов, ввод их в разные зоны покровного шлака, а также присадка на шлак мелкого алюмотермического шлака дали возможность снизить продолжительность шлакообразования до 10 – 12 мин.

Это позволило при заданном времени технологических операций на УКП до 25 мин, определяемом скоростью разливки металла на УНРС, увеличить степень десульфурации стали в среднем до 75 %. Максимальная степень десульфурации составляет 80 – 85 %, т.е. практически при любой концентрации серы на выпуске металла из дуговой печи обеспечивается необходимое содержание серы в готовой стали. Ускоренный режим шлакообразования позволил сократить расход извести с 17,8 до 11,7 кг/т, плавикового шпата – с 2,3 до 1,4 кг/т стали, электродов на 10 %, электроэнергии – на 3 %; при этом стойкость сталеразливочных ковшей повысилась с 48 до 74 плавов.

Высокая степень десульфурации стали на УКП достигается только в условиях интенсивного перемешивания металла и шлака аргоном, вдуваемым обычно через 2 – 3 донные фурмы.

Донная продувка металла инертным газом является более эффективной по сравнению с продувкой через верхнюю фурму. При этом пористые пробки, изготавливаемые на основе глинозема, магнезита или хромагнезита, используют при небольшом расходе газа. Расход аргона на продувку изменяется в широких пределах. Максимальная интенсивность продувки ограничивается возможностью оголения зеркала металла. Обычно продувку аргоном считают интенсивной при 5 л/(мин·т) [6].

Степень десульфурации стали при заданном составе шлака и его количестве определяется не расходом газа, а мощностью перемешивания. Перемешивание аргоном интенсифицирует массоперенос серы из металла в шлак. Зависимость коэффициента массопереноса серы K_s от мощности перемешивания (по данным ИРСИД) показана на рис. 4а [10]. Величина K_s зависит также от исходного содержания серы в металле (рис. 4б) [6]. По данным лабораторных экспериментов [6], при определенных гидродинамических условиях, с повышением содержания серы в металле до $\sim 0,030\%$ величина K_s возрастает, достигает максимума и затем вновь уменьшается.

При прочих равных условиях решающее влияние на степень десульфурации и конечное содержание серы в стали оказывает количество рафинировочного шлака. Для получения заданного содержания серы в металле, необходимое количество шлака $\{q_{\text{шл}}, \text{кг}/100 \text{ кг} (\%) \}$, можно рассчитать по уравнению [3]:

$$q_{\text{шл}} = \{100([S]_{\text{н}} - [S]_{\text{к}})\} / \{L_s[S]_{\text{к}} - (S)_{\text{н}}\} \quad (2)$$

где $[S]_{\text{н}}$ и $[S]_{\text{к}}$ – начальное и конечное содержание серы в металле;

L_s – коэффициент распределения серы между шлаком и металлом;

$(S)_{\text{н}}$ – начальное содержание серы в наводимом шлаке.

Содержание серы в металле $< 0,005\%$ (степень десульфурации $\geq 80\%$) достигается при наведении шлака с высокой десульфурующей способностью ($L_s \geq 100$) в количестве не менее 4%. Для получения не более 0,010 – 0,015% S (при степени десульфурации около 50%) доста-

точно наведение шлака в количестве до 1 – 2%. При $L_s \geq 150$ количество шлака уменьшается соответственно до 3 и 1%. Количество рафинировочного шлака в ковше для достижения особо низкого содержания серы в стали сопоставимо с соответствующим его расходом при обработке металла дорогостоящим синтетическим шлаком [11]. Однако на УКП, вследствие нагрева металла электрическими дугами, несколько меняется роль шлака, который должен, кроме удаления серы, обеспечить устойчивое горение электрических дуг для нормального режима нагрева металла, уменьшить теплотери на нагрев крышки ковша и с отходящими газами. По данным работы [10], толщина слоя шлака в УКП должна быть не меньше длины дуги, что для 120 – 140-т ковша составляет 65 мм. При тонком слое шлака происходит поглощение металлом углерода из электродов (2,0 – 2,5 ppm/мин), а также возрастает поглощение газов, в частности азота. При увеличении толщины слоя высокоосновного электропроводящего шлака более 200 мм, в нем могут возникнуть

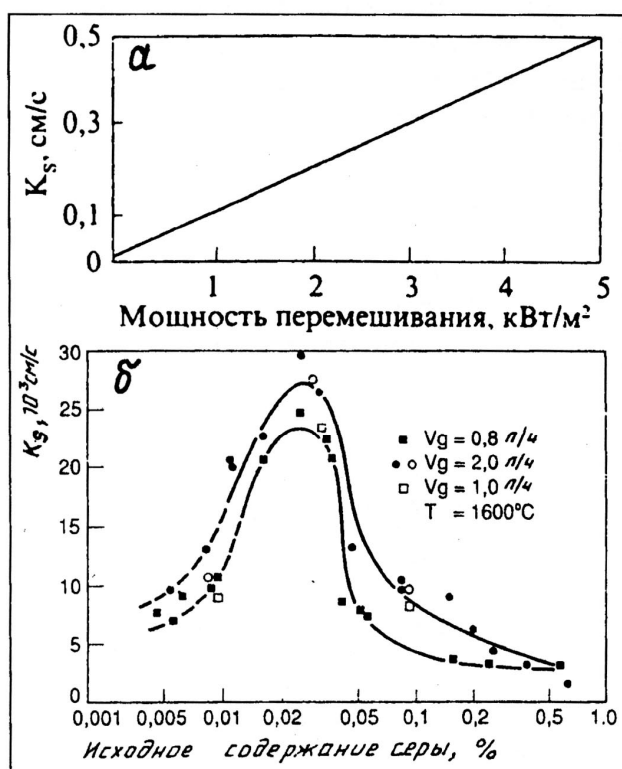


Рис. 4 – Зависимость коэффициента массопереноса серы (K_s) от мощности перемешивания металла в ковше (а) и содержания серы в стали (б).

токи, накоротко замыкающие электроды, вызывая нагрев шлака, а не металла.

На показатели десульфурации оказывает значительное влияние состав обрабатываемой стали. Так, степень десульфурации бескремнистой ($Si < 0,02\%$) стали, раскисленной только алюминием, значительно ниже, чем раскисленной алюминием и кремнием. По данным работы [3], при обработке низкоуглеродистой стали (типа 08Ю, 08пс) на удаление около 50% серы за-

трачивается примерно в 1,5 раза больше времени, что обусловлено практически отсутствием в такой стали кремния ($\leq 0,02 - 0,03 \%$). Присутствие кремния в стали снижает активность кислорода в металле, способствуя увеличению L_S и тем самым более полному переходу серы из металла в шлак. При обработке низкоуглеродистой стали содержание (FeO+MnO) в шлаке обычно более высокое, что уменьшает значение L_S и достигаемую степень десульфурации.

Выводы

Оптимизация технологии десульфурации на установке ковш-печь с учетом существующих особенностей каждого предприятия позволяет за время нормального цикла обработки на У КП ($< 40 - 50$ мин) осуществлять производство стали с любым регламентировано низким содержанием серы, включая и производство особо низкосернистых (не более $0,001 - 0,003 \%$ S) марок стали соответственного назначения.

Перечень ссылок

1. Производство стали на агрегате ковш-печь / Д.А. Дюдкин, С.Ю. Бать, С.Е. Гринберг, С.Н. Маринцев // Донецк: ООО «Юго-Восток. Лтд». – 2003. – 300 с.
2. Смирнов Н.А. Оптимизация технологии десульфурации стали на установке ковш-печь / Н.А. Смирнов // Электromеталлургия. – 2004. – № 1. – С. 20 – 28.
3. Особенности десульфурации стали на установке ковш-печь в ОАО ММК / Р.С. Тахаутдинов, А.М. Бигеев, А.Х. Валиахметов и др. // Электromеталлургия. – 2003. – № 7. – С. 31 – 34.
4. Григорян В.А. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов / В.А. Григорян, А.Я. Стомахин, А.Г. Пономаренко. – М.: Metallургия. – 1989. – 288 с.
5. Внепечная десульфурация стали / Г. Грунер, Ф. Барденхойер, Х. Роммерсвинкер и др. // Черные металлы. – 1976. – № 20. – С. 23 – 27.
6. Плушкель В. Metallургические реакции, обеспечивающие установление минимальных содержаний углерода, фосфора, серы и азота в стали / В. Плушкель // Черные металлы. – 1990. – № 6. – С. 20 – 30.
7. Снижение содержания серы и водорода путем внепечной обработки легированной стали / В.А. Новиков, С.А. Иодковский, В.С. Дуб и др. // Сталь. – 1987. – № 7. – С. 26 – 28.
8. Совершенствование технологии внепечной обработки стали на установке ковш-печь / И.В. Деревянченко, О.Л. Кучеренко, А.В. Гальченко и др. // Сталь. – 1999. – № 7. – С. 30 – 32.
9. Рябов В.В. Эффективность нагрева и десульфурации металла на установке ковш-печь постоянного тока / В.В. Рябов, В.И. Савченко, А.Я. Бунеев // Сталь. – 1996. – № 4. – С. 27 – 30.
10. Пути ресурсосбережения при внепечной обработке стали / Д.А. Дюдкин, С.Е. Гринберг, А.В. Грабов и др. // Сталь. – 2002. – № 3. – С. 55 – 57.
11. Десульфурация электротехнической изотропной стали жидким синтетическим шлаком / В.И. Савченко, В.Г. Пегов, В.С. Кондрашкин и др. // Сталь. – 1997. – № 8. – С. 25 – 28.
12. Совершенствование технологии внепечной обработки конвертерной стали / А.Ф. Сарычев, А.Д. Носов, В.Ф. Коротких и др. // Сталь. – 2002. – № 1. – С. 19 – 21.

Рецензент: С.Л. Макуров
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 10.04.2008