

ного університету. Серія: Металургія. Випуск 12 (177) – Донецьк: ТОВ «Цифрова типографія», 2010. – С. 56-65.

Надійшла до редакції 14.07.2011

Рецензент д.т.н., проф. М.О. Маняк

© Кочура В.В., Ярошевский С.Л., Брага В.В.

УДК 669.162.257.642

А.М. Зборщик, С.В. Куберский, Г.Я. Довгалюк, В.Н. Беломеря

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЛЮИДИЗИРОВАННОЙ ИЗВЕСТИ ДЛЯ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА В 300-Т ЗАЛИВОЧНЫХ КОВШАХ

Приведены результаты десульфурации чугуна продувкой флюидизированной известью в 300-т заливочных ковшах кислородно-конвертерного цеха. Анализ результатов исследования показывает, что при глубокой десульфурации чугуна с исходным содержанием серы $0,020 \div 0,030\%$ смесью гранулированного магнезия и флюидизированной извести вдуваемая вместе с магнезием в металл известь не оказывает существенного влияния на результаты обработки.

Ключевые слова: внедоменная десульфурация чугуна, заливочный ковш, флюидизированная известь.

Постановка проблемы

В работах [1,2] проанализированы результаты десульфурации чугуна в крупных заливочных ковшах сталеплавильных цехов. Путем сравнения данных математического моделирования результатов десульфурации чугуна магнезием с экспериментальными результатами обработки чугуна смесью гранулированного магнезия и порошкообразной флюидизированной извести показано, что вдуваемая вместе с магнезием в металл известь не оказывает существенного влияния на эффективность десульфурации чугуна. Однако, полученные таким путём выводы требовали экспериментальной проверки.

Формулировка целей статьи

В настоящей работе ставилась задача в ходе опытно-промышленного исследования десульфурации чугуна в заливочных ковшах кислородно-конвертерного цеха проверить полученные в результате теоретического анализа выводы об отсутствии существенного влияния флюидизированной извести на эффективность десульфурации металла.

Основная часть

С этой целью в кислородно-конвертерном цехе ОАО «Алчевский металлургический комбинат» проведено исследование десульфурации чугуна в 300-т заливочных ковшах продувкой флюидизированной известью, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты десульфурации чугуна продувкой флюидизированной известью

Масса чугуна, т	Температура чугуна, °С		Расход извести, кг	Массовая доля серы, %	
	начальная	конечная		начальная	конечная
279,0	1340	1321	700	0,051	0,045
252,7	1382	1371	146	0,023	0,022
258,3	1348	1320	620	0,023	0,019
244,6	1319	1289	466	0,031	0,021
255,5	1400	1386	1000	0,028	0,017
251,7	1315	1290	849	0,029	0,024
254,0	1300	1288	1598	0,040	0,019
286,2	1445	1430	1500	0,032	0,017
268,8	1370	1362	400	0,019	0,017
257,8	1360	1342	967	0,025	0,017
255,8	1311	1294	1256	0,023	0,010
252,9	1358	1340	900	0,032	0,020
257,2	1377	1357	900	0,030	0,017
257,2	1356	1335	1100	0,036	0,020
260,0	1363	1346	600	0,026	0,020
259,4	1369	1361	300	0,023	0,021
263,0	1310	1274	3174	0,048	0,013
255,8	1330	1249	4717	0,080	0,013
255,4	1338	1303	3501	0,060	0,013
254,8	1324	1292	3328	0,056	0,012
256,4	1342	1310	3458	0,059	0,016
258,8	1321	1291	3521	0,070	0,014
250,0	1322	1290	3703	0,064	0,010
265,2	1354	1318	4207	0,074	0,011
268,0	1381	1327	3267	0,056	0,012
272,6	1307	–	4358	0,067	0,003

Согласно ТУ У 26.5-00193714-042-2001 химический состав применяемой для десульфурации чугуна флюидизированной извести должен отвечать следующим требованиям, %: $\text{CaO} \geq 94$, $\text{S} \leq 0,04$, потери при прокаливании $\leq 0,8$. Размер частиц извести не должен превышать 100 мкм. При этом массовая доля частиц, размер которых не превышает 60 мкм, должна составлять не менее 80%. В качестве транспортирующего газа при инжек-

тировании извести в металл использовали азот, химический состав которого соответствовал требованиям к азоту повышенной чистоты 1 сорта по ГОСТ 9293-74. Расход транспортирующего газа изменялся в пределах 50 – 60 $\text{нм}^3/\text{ч}$.

Анализ результатов исследования показал, что кинетика десульфурации чугуна продувкой порошкообразной известью с достаточной точностью может быть описана кинетическим уравнением реакции первого порядка относительно концентрации серы в металле, решение которого имеет вид

$$(S_k - S_p)/(S_n - S_p) = e^{-k\tau}, \quad (1)$$

где S_n и S_k – начальное и конечное содержание серы в чугуне, %; S_p – равновесное с оксидом кальция содержание серы в чугуне у поверхности частиц извести, %; k – константа скорости реакции, мин^{-1} ; τ – продолжительность обработки, мин.

Согласно данным работы [3] содержание серы в чугуне в равновесии с оксидом кальция на несколько порядков меньше фактического содержания серы в металле.

Поэтому, если известь вдувается в металл с постоянной скоростью, уравнение (1) можно привести к виду

$$S_k/S_n = e^{-kq}, \quad (2)$$

где q – удельный расход извести на десульфурацию чугуна, кг/т .

Обработка данных табл. 1 показывает (рис. 1), что при десульфурации чугуна продувкой флюидизированной известью в 300-т заливочных ковшах зависимость величины $\ln(S_k/S_n)$ от удельного расхода извести описывается уравнением

$$\ln(S_k/S_n) = 0,0238798 - 0,124816 \cdot q. \quad (3)$$

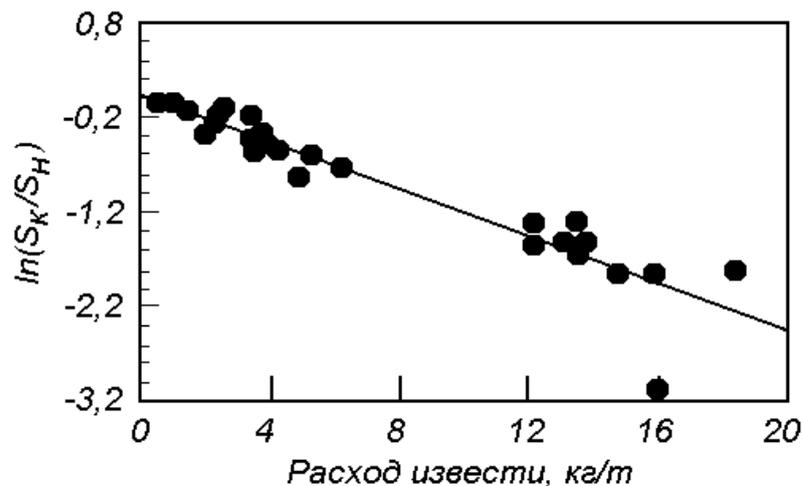


Рисунок 1 – Зависимость величины $\ln(S_k/S_n)$ от удельного расхода флюидизированной извести.

При найденных значениях коэффициентов в уравнении (3) коэффициент линейной корреляции $R = 0,934$.

Установленный характер зависимости между содержанием серы в чугуне и удельным расходом десульфуратора позволяет с большой вероятностью предполагать, что лимитирующим звеном реакции является массоотдача серы из объема металла к поверхности частиц извести.

В пользу такого вывода свидетельствует также характер зависимости степени десульфурации чугуна от удельного расхода флюидизированной извести. Если изменение содержания серы в чугуне при обработке известью описывается уравнением (2), зависимость степени десульфурации чугуна от удельного расхода реагента должна иметь вид

$$(S_H - S_K) / S_H = 1 - e^{-kq} . \quad (4)$$

Из уравнения (4) видно, что в этом случае степень десульфурации чугуна определяется удельным расходом извести на обработку и не зависит от исходного содержания серы в металле.

Обработка данных табл. 1 с использованием пакета прикладных программ «Statgraphics Plus 3.0» показала (рис. 2), что зависимость степени десульфурации чугуна от удельного расхода флюидизированной извести описывает статистическая модель «Square root – X» вида

$$(S_H - S_K) / S_H = -0,148329 + 0,255708 \cdot q^{0,5} . \quad (5)$$

При найденных значениях коэффициентов в уравнении (5) коэффициент корреляции $R = 0,967$.

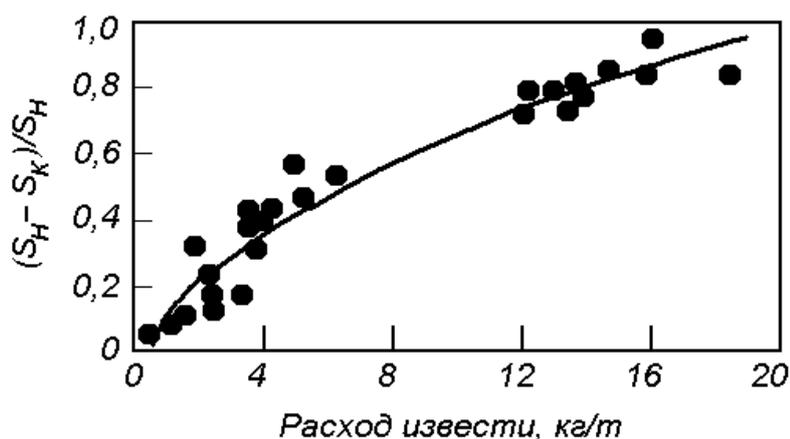


Рисунок 2 – Зависимость степени десульфурации чугуна от удельного расхода флюидизированной извести.

Если лимитирующим звеном реакции является массоотдача серы из объема металла, расход извести на удаление единицы массы серы является

функцией среднего за время обработки содержания серы в чугуне, методика определения которого изложена в работе [4].

Полученная на основании данных табл. 1 зависимость расхода извести на удаление 0,001% серы от среднего за время обработки содержания серы в металле представлена на рис. 3.

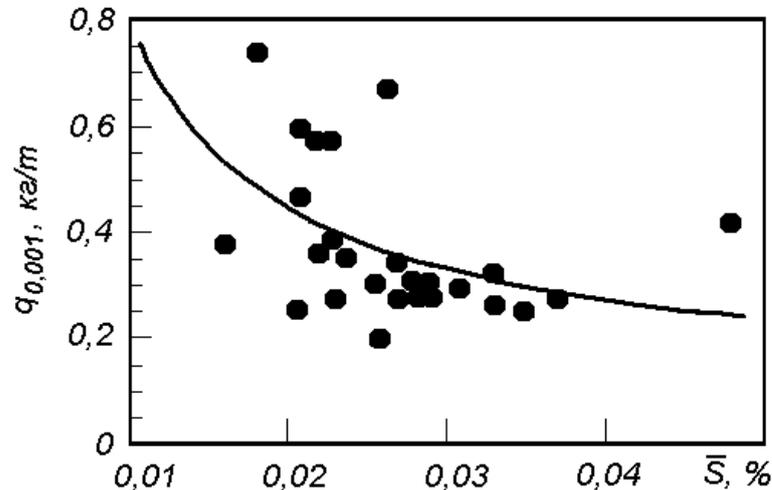


Рисунок 3 – Зависимость расхода извести на удаление 0,001% серы от среднего за время обработки содержания серы в металле

Обработка экспериментальных данных показала, что из имеющихся в пакете «Statgraphics Plus 3.0» стандартных статистических моделей эту зависимость точнее других описывает модель «Reciprocal – X» вида

$$q_{0,001} = 0,0982184 + 0,00691948/\bar{S}, \quad (6)$$

где $q_{0,001}$ – расход извести на удаление 0,001% серы, кг/т; \bar{S} – среднее за время обработки содержание серы в чугуне, %.

Согласно протоколу обработки экспериментальных данных при найденных значениях коэффициентов в уравнении (6) коэффициент корреляции $R = 0,44$, что свидетельствует о существовании статистически значимой зависимости между $q_{0,001}$ и \bar{S} при уровне доверия 95%.

Десульфурация чугуна инжектированием смеси гранулированного магния и порошкообразной флюидизированной извести в заливочных ковшах кислородно-конвертерного цеха ОАО «Алчевский металлургический комбинат» организована следующим образом. Соотношение удельных расходов магния и извести на десульфурацию чугуна может быть задано в пределах 1 : 5÷7, в настоящее время цех работает с использованием соотношения 1 : 6. Подачу магния обычно начинают после вдувания 50 кг извести, затем в чугун вводят все необходимое количество гранулированного магния вместе с флюидизированной известью при соотношении массовых расходов магния и извести 1 : 3. После прекращения подачи магния

продувку продолжают до выдачи в металл оставшегося количества извести. Сведения об удельных расходах гранулированного магнезия, рекомендованных действующей технологической инструкцией по десульфурации чугуна в 300-т заливочных ковшах, представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Сведения об удельных расходах магнезия и извести на десульфурацию чугуна.

Массовая доля серы в чугуне, %		Расход магнезия, кг/т	Расход извести, кг/т	
начальная	конечная		общий	при вводе Mg
0,020	0,005	0,38	2,28	1,14
0,022	0,005	0,40	2,40	1,20
0,024	0,005	0,42	2,52	1,26
0,026	0,005	0,44	2,64	1,32
0,028	0,005	0,46	2,76	1,38
0,030	0,005	0,48	2,88	1,44

В этой же таблице приведены данные об удельных расходах флюидизированной извести на обработку и количестве извести, которое вводят в чугун одновременно с подачей магнезия.

Согласно данным табл. 2 при десульфурации чугуна с начальным содержанием серы 0,020÷0,030% продувкой смесью гранулированного магнезия и флюидизированной извести суммарный расход извести на обработку составляет 2,28÷2,88 кг/т.

При средней массе чугуна в ковше 280 т удельный расход извести, которая вдувается в чугун до ввода магнезия, составит около 0,18 кг/т. Согласно уравнению (6), при обработке чугуна с указанным выше начальным содержанием серы расход извести на удаление 0,001% серы составляет 0,444÷0,329 кг/т. При этом расчётное количество серы, которое можно удалить из чугуна до начала подачи магнезия, не превышает 0,0004÷0,0005%.

При обработке чугуна с начальным содержанием серы 0,020÷0,030% вместе с магнезией в металл поступает 1,14÷1,44 кг/т извести. При десульфурации чугуна до содержания серы 0,005% средние за время обработки значения концентрации серы в металле будут изменяться в пределах 0,011÷0,014%. Согласно уравнению (6), расходы извести для удаления 0,001% серы будут составлять 0,738÷0,594 кг/т. При этом расчётное количество серы, которое можно удалить из металла в результате взаимодействия с известью за время обработки чугуна магнезией, составит 0,0015÷0,0024%.

Однако, есть основания полагать, что при продувке чугуна смесью флюидизированной извести и гранулированного магнезия количество серы,

которая удаляется из металла в результате взаимодействия с известью, будет меньше приведенных выше расчетных значений.

Известно, что лишь небольшая доля частиц вдуваемой в расплав извести обладает кинетической энергией, достаточной для проникновения в металл. Согласно оценке, проведенной автором работы [5], при радиусе частиц 0,1 мм доля таких частиц не превышает 10% общего их количества. Остальная известь выносятся из металла пузырями транспортирующего газа, при образовании которых частицы порошкообразной извести могут находиться внутри пузыря или флотироваться им.

При продувке чугуна смесью флюидизированной извести и гранулированного магнезия большая часть извести удаляется из металла пузырями пара магнезия. При этом концентрация серы в металле у поверхности пузырей приближается к равновесной с парообразным или растворенным в чугуне магнезием, которая в зависимости от парциального давления пара магнезия в поднимающихся в расплаве пузырях не превышает $0,001 \div 0,002\%$ [6,7]. В этих условиях количество серы, которое удаляется из металла в результате взаимодействия с известью, будет намного меньше, чем при продувке чугуна только лишь известью. Этот вывод подтверждается результатами промышленного исследования десульфурации чугуна продувкой смесью порошкообразной извести и гранулированного магнезия в сталеплавильном цехе №2 завода Узиминас [8,9]. Авторы этого исследования, увеличивая соотношение массовых расходов извести и магнезия от 2,5 : 1 до 4 : 1 и более, пришли к выводу, что эффективность десульфурации чугуна при увеличении количества вдуваемой вместе с магнезием в металл извести не изменяется.

При обработке чугуна с указанным выше начальным содержанием серы после выдачи всего количества магнезия чугун дополнительно продувают известью в количестве $0,96 \div 1,26$ кг/т. При содержании серы в чугуне около 0,005% расход извести на удаление 0,001% серы, согласно уравнению (6), составляет 1,482 кг/т. Поэтому в этом заключительном периоде десульфурации чугуна в результате продувки известью можно удалить не более $0,0006 \div 0,0008\%$ серы.

Результаты проведенного выше анализа позволяют утверждать, что при глубокой десульфурации чугуна с исходным содержанием серы $0,020 \div 0,030\%$ продувкой смесью гранулированного магнезия и флюидизированной извести в 300-т заливочных ковшах количество серы, которое удаляется из чугуна в результате взаимодействия с известью, скорее всего, не превышает $0,002 \div 0,003\%$. Эта величина сопоставима с погрешностями, которые в промышленных условиях могут быть допущены в ходе отбора проб и химического анализа.

Выводы

Таким образом, анализ результатов промышленного исследования десульфурации чугуна флюидизированной известью подтверждает выводы авторов работ [1,2] о том, что при десульфурации чугуна в 300-т заливочных ковшах смесью порошкообразной флюидизированной извести и гранулированного магния вдуваемая вместе с магнием в металл известь не оказывает существенного влияния на результаты обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зборщик А.М. Эффективность современных технологий внедоменной десульфурации чугуна. / А.М. Зборщик, С.В. Куберский, К.Е. Писмарев [и др.] // Известия вуз. Черная металлургия. – 2009, №11. – С.10-12.
2. Зборщик А.М. Сравнение эффективности современных технологий внедоменной десульфурации чугуна. / А.М. Зборщик, С.В. Куберский, К.Е. Писмарев [и др.] // Сталь. – 2010, №1. – С.21-23.
3. Воронова Н.А. Десульфурация чугуна магнием. – М.: Металлургия, 1980. – 240 с.
4. Зборщик А.М. Анализ термодинамики и кинетики десульфурации чугуна магнием. // Сталь. – 2001, №7. – С.17-20.
5. Сидоренко М.Ф. Теория и практика продувки металла порошками: 2-е изд. – М.: Металлургия, 1978. – 232 с.
6. Speer M.C. Dissolution and Desulfurization Reactions of Magnesium Vapor in Liquid Iron Alloys./ M.C. Speer, N.–A. D. Parlee // AFS Cast Metals Research Journal. – 1972, v.8, № 3. – P.122–128.
7. Зборщик А.М. Влияние поверхностно-активных примесей на механизм взаимодействия магния с чугуном. // Известия вуз. Черная металлургия. – 2003, №11. – С.13-16.
8. Десульфурация чугуна совместной инъекцией извести и магния в цехе №2 завода Узуминас. / J.F. Viana, S.L.Costa, A. Prenazzi. // Новости черной металлургии России и зарубежных стран. Часть II. Новости черной металлургии за рубежом. – 2000, № 2 (22). –С. 42-45.
9. Viana J.F. Hot Metal Desulfurization by CaO-Mg Co-Injection in Usiminas Steel Shop 2. / J.F. Viana, S.L. Costa, A. Prenazzi, D.C. Lee // The International Desulfurization Seminar, October 21, 1999 in Hilton Hotel, Prague, Czech Republic. P. 151–161.

Надійшла до редакції 20.05.2011

Рецензент д.т.н., проф. О.М. Смірнов

© Зборщик А.М., Куберский С.В., Довгалюк Г.Я., Беломеря В.Н.