

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МЕЖФАЗНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫ ПРИ ИНЖЕКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ЧУГУНА МАГНИЕМ

Руденко А.Л., к.т.н., научный сотрудник (office.isi@yandex.ru)

Национальная Академия наук Украины
Институт черной металлургии им. Некрасова З.И.
(49050, Украина, г. Днепропетровск, пл. Ак. Стародубова, 1)

Аннотация. С использованием промышленных результатов обработки чугуна магнием выполнен анализ закономерности межфазного распределения серы. Предложен расчет баланса серы, учитывающий не только переход элементов из металла в шлак, но и влияние таких показателей, как изменение массы чугуна в ковше, связанное с окислением железа и образованием корочек металла в шлаке, а также увеличение количества растворенной в корочках серы. Выполнено сравнение расчетных данных о количестве выносимой из ковша с восходящими пылегазовыми потоками серы с результатами промышленных обработок различных авторов. Определена зависимость потерь серы от количества шлака в коше и технологических параметров процесса десульфурации чугуна магнием.

Ключевые слова: десульфурация, инжекция, отходящие газы, ковшовый шлак.

Продуктом десульфурации чугуна магнием является твердый сульфид магния ($T_{пл} = 2500 \text{ K}$ [1]), который поднимается к поверхности раздела металл–шлак. Данные различных авторов свидетельствуют [2–4], что сульфид магния практически не растворяется в жидком чугуне. Условия эвакуации из жидких металлургических расплавов твердых продуктов реакции определяются физическими свойствами расплава (плотностью, вязкостью и т.д.), а также смачиваемостью частичек жидким расплавом. Общеизвестно [4, 5], что железоуглеродистые расплавы сравнительно плохо смачивают огнеупорные материалы, что может косвенно свидетельствовать и о неудовлетворительной смачиваемости сульфида магния жидким чугуном. Всплывающий в объеме жидкого расплава MgS практически не участвует во взаимодействии. В ходе рентгеноструктурного анализа синтетического чугуна после рафинирования магнием авторами работы [6] был обнаружен в металле в качестве неметаллических включений только сульфид магния. Расчетным путем определили его концентрацию в расплаве на уровне $5 \cdot 10^{-5} \%$ при размере включения 1,5 мкм. Наличие сульфида магния в жидком расплаве подтверждают и авторы работы [7], при этом размер частичек оценен ими в пределах 1 мкм.

Результаты экспериментальных исследований структуры шлаков, образующихся в ковше при десульфурации чугуна магнием, полученные авторами работ [8, 9], свидетельствуют о том, что MgS в ковшовом шлаке отсутствует. А сера, в основном, связана с кальцием и марганцем.

В ходе выполненного анализа [10] количества и состава отходящих газов, выделяющихся из ковша при десульфурации, было определено, что суммарное содержание серы в газах и пыли не превышает 1 % от

общего количества удаленной из металла серы. Тогда как авторы работ [11, 12] отмечают, что характерной особенностью десульфурации чугуна магнием является вынос из металла продукта реакции – MgS с пылегазовыми потоками. В отходящих потоках сера присутствует, в основном, в виде мелких твердых частичек MgS. Расчеты по определению количества серы, вынесенной восходящими газовыми потоками, выполненные этими авторами, показали значительный вынос серы: до 3/4 от всей удаленной из металла. Общим для различных точек зрения [7, 10, 13] является не механизм удаления серы из чугуна, а результат анализа отходящих газов, который показал практически полное отсутствие в них серы. Известно по данным [14], что шлак, образующийся в ковше после рафинирования, может состоять более чем наполовину из корочек металла с содержанием серы в них, значительно превышающим содержание серы в объеме металла. Тогда как при составлении баланса серы авторы работы [12] не учитывали такие существенные показатели, как изменение массы чугуна в ковше, связанное с окислением железа до оксидов, и образование корочек металла в шлаке.

Целью настоящей работы является анализ закономерностей механизма межфазного распределения серы в реальных производственных условиях.

Использовали данные экспериментальных обработок ($i = 1 - 8$) чугуна магнием на заводах Китая (табл. 1). Во время эксперимента отбирали пробы из металла и шлака с корочками до и после обессеривания чугуна магнием. Из пробы шлака отбирали корочки и рассеивали по шести фракциям ($j = 1 - 6$). Пробы шлака для исследования химического состава, структуры, свойств и содержания металлической фазы отбирали ложкой из ковшей до и после осуществления процесса десульфурации чугуна магнием. Их дробили, измельчали, отмаг-

Таблица 1

Результаты десульфурации чугуна гранулированным магнезием в условиях работы Тонгхуанского, Жичжаоского и Юаньлийского металлургических комбинатов [16]

№ п/п	Масса чугуна, т	Количество шлака после скачивания		Уд. расход магнезии, кг/т	Содержание серы в чугуне, %		Расход магнезии на удаленную серу, кг/кг	Степень десульфурации, %	Содержание серы в шлаке, %		Содержание королек в шлаке, %	
		мм	%		S _н	S _к			S _н	S _к	до обработки	после обработки
1	140	150	2,85	0,41	0,037	0,008	1,41	78,38	0,036	0,15	24,60	30,19
2	59	50	1,21	0,64	0,023	0,005	3,56	78,26	0,029	0,29	69,49	54,29
3	50	25	0,72	0,40	0,022	0,008	2,86	63,64	0,048	0,56	40,42	20,14
4	58	20	0,49	0,78	0,039	0,007	2,44	82,05	0,041	2,38	41,59	73,87
5	45	20	0,49	0,79	0,020	0,005	5,27	75,00	0,038	1,16	13,04	27,39
6	45	20	0,49	0,61	0,039	0,027	5,08	30,77	0,098	0,76	4,43	11,46
7	46	5	0,12	0,61	0,032	0,009	2,65	71,88	0,054	1,59	1,66	29,97
8	46	100	2,44	0,69	0,034	0,009	2,76	73,53	0,550	0,73	7,18	33,21

ничивали металлическую фазу, шлаковую фазу истирали и подвергали химическому анализу.

Отмагниченные корольки металла очищали от остатков шлака, рассеивали на ситах с различной ячейкой для определения фракционно-дисперсного состава, после чего корольки дробили, истирали и подвергали химическому анализу. Данные о концентрации королек различного фракционного состава и содержании в них серы в восьми экспериментах приведены в табл. 2.

При составлении баланса серы учитывали не только переход элементов из металла в шлак, но и влияние таких показателей, как изменение массы чугуна в ковше, связанное с окислением железа и образованием королек металла в шлаке, а также увеличение количества растворенной в корольках серы. Из-за различия в объеме чугуна в ковше ($Q_{\text{ков}}$) расчет проводили на одну тонну чугуна. Для определения потери серы с отходящим пылегазовым потоком сравнивали общее количество серы в ковше до десульфурации ($Q_{\Sigma S}$) и после десульфурации чугуна магнезием ($Q_{\Sigma S, \text{Mg}}$).

Величину $Q_{\Sigma S}$ определяли по формуле

$$Q_{\Sigma S} = Q_{\Sigma S_{\text{кор}}} + Q_{\Sigma S_{\text{шл}}} + Q_{\Sigma S_{\text{чуг}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\Sigma S_{\text{кор}}}$ – общая масса серы в корольках; $Q_{\Sigma S_{\text{шл}}}$ – общее количество серы в шлаке; $Q_{\Sigma S_{\text{чуг}}}$ – общее количество серы в чугуне с учетом корректировки его массы.

Значение $Q_{\Sigma S_{\text{кор}}}$ определяем по формуле

$$Q_{\Sigma S_{\text{кор}}} = Q_{\text{чуг}} W_{\text{шл, кор}} \sum_{j=1}^6 W_{\text{кор, } j} W_{S, \text{кор, } j, \dots}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{чуг}}$ – масса чугуна в ковше, т; $W_{\text{шл, кор}}$ – доля шлака с корольками по отношению к массе чугуна; $W_{\text{кор, } j}$ – доля

королек фракции j в доле $W_{\text{шл, кор}}$; $W_{S, \text{кор, } j, \dots}$ – доля серы в корольках фракции j .

Общее количество серы в шлаке рассчитывали по уравнению

$$Q_{\Sigma S_{\text{шл}}} = Q_{\text{чуг}} W_{\text{шл, кор}} W_{S_{\text{шл}}}, \quad (3)$$

где $W_{S_{\text{шл}}} = 1 - W_{\text{кор}}$ – доля серы в шлаке с корольками.

Для определения общего количества серы, находящейся в чугуне, сначала необходимо определить массу металла в ковше, откорректировав ее с учетом перехода части металла в шлак в виде оксидов железа и королек по уравнению

$$Q'_{\text{чуг}} = Q_{\text{чуг}} - Q_{\text{Fe}_{\text{шл}}} - Q_{\text{кор}}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{чуг}}$ – исходная масса чугуна в ковше; $Q_{\text{Fe}_{\text{шл}}}$ – количество железа, перешедшего в шлак в виде оксидов; $Q_{\text{кор}}$ – количество железа, перешедшего в шлак в виде королек.

Количество железа чугуна $Q_{\text{Fe}_{\text{шл}}}$, которое окисляется и переходит в шлак в виде оксидов FeO и Fe₂O₃, определяли по следующему уравнению:

$$Q_{\text{Fe}_{\text{шл}}} = Q_{\text{шл, кор}} W_{\text{шл}} \times \left(\frac{(W_{\text{FeO}_{\text{шл}}} - W_{\text{FeO}_{\text{д. шл}}}) X_{\text{Fe}}}{M_{\text{FeO}}} + \frac{W_{\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{шл}}} 2X_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} \right), \quad (5)$$

где $W_{\text{FeO}_{\text{шл}}}$ и $W_{\text{FeO}_{\text{д. шл}}}$ – доля FeO в шлаке конкретного образца и в доменном шлаке соответственно; $W_{\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{шл}}}$ – доля Fe₂O₃ в шлаке конкретного образца; $W_{\text{шл}}$ – доля шлака в шлаке с корольками; X_{Fe} – атомная масса железа; M_{FeO} и $M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ – молекулярные массы FeO и Fe₂O₃.

Таблица 2

Содержание серы в корольках металла (начальное $[S]_н$ и конечное $[S]_к$) различного фракционного состава в шлаке до $(S)_н$ и после $(S)_к$ обработки чугуна гранулированным магнием в условиях Тонгхуанского, Жичжаоского и Юаньлийского металлургических комбинатов

№ п/п	Содержание серы, %, при размере корольков											
	> 5 мм				3 – 5 мм				2 – 3 мм			
	$(S)_н$	$(S)_к$	$[S]_н$	$[S]_к$	$(S)_н$	$(S)_к$	$[S]_н$	$[S]_к$	$(S)_н$	$(S)_к$	$[S]_н$	$[S]_к$
1	8,15	17,27	0,049	0,42	2,51	2,74	0,049	0,50	2,25	2,24	0,059	0,73
2	38,70	7,81	0,022	0,24	12,70	17,50	0,026	0,35	6,49	9,36	0,038	0,53
3	15,70	4,77	0,029	0,22	11,00	4,03	0,035	0,60	6,65	2,24	0,028	0,88
4	29,80	28,23	0,066	1,32	5,00	18,90	0,056	1,22	2,54	9,20	0,084	1,46
5	8,96	9,78	0,060	0,99	0,81	3,28	0,060	0,99	0,56	2,70	0,099	0,76
6	1,18	0,19	0,101	–	1,11	1,62	0,095	0,27	0,71	2,30	0,190	0,28
7	0,21	2,51	0,160	0,17	0,18	3,01	0,120	0,34	0,19	3,32	0,200	0,76
8	0,19	5,33	–	0,45	1,43	5,53	0,290	1,12	1,04	4,03	0,410	1,25
	1 – 2 мм				0,14 – 1 мм				< 0,14 мм			
	$(S)_н$	$(S)_к$	$[S]_н$	$[S]_к$	$(S)_н$	$(S)_к$	$[S]_н$	$[S]_к$	$(S)_н$	$(S)_к$	$[S]_н$	$[S]_к$
1	5,03	3,50	0,042	0,95	5,60	3,78	0,042	1,15	1,06	0,66	0,05	1,88
2	5,03	13,62	0,039	0,73	2,78	5,24	0,049	1,18	3,83	0,78	0,07	1,25
3	5,41	4,26	0,024	1,09	1,42	4,08	0,031	1,93	0,23	0,46	0,05	3,10
4	2,85	11,41	0,098	1,76	1,22	5,03	0,097	2,37	0,15	1,12	0,13	4,92
5	1,13	6,09	0,059	1,21	1,29	4,98	0,105	1,62	0,29	0,56	–	2,10
6	0,94	4,41	0,136	0,45	0,42	2,38	0,185	1,05	0,07	0,56	–	2,98
7	0,64	11,13	0,120	1,19	0,39	8,59	0,130	1,45	0,05	1,41	–	2,83
8	2,35	10,27	0,400	2,29	1,80	6,28	1,500	2,40	0,37	1,77	–	2,90

Величину $Q_{кор}$ вычисляли по формуле

$$Q_{кор} = Q_{шл, кор, i} W_{кор}, \quad (6)$$

где $W_{кор}$ – доля корольков в шлаке с корольками.

Тогда, используя вычисленную конечную массу чугуна по уравнению (4), определим концентрацию серы в нем:

$$Q_{\Sigma S_{чуг}} = Q'_{чуг} W_{S_{чуг}}; \quad (7)$$

здесь $W_{S_{чуг}}$ – доля серы в чугуне.

Аналогично рассчитываем общее количество серы в ковше после обессеривания чугуна магнием:

$$Q_{\Sigma S, Mg} = Q_{\Sigma S_{кор, Mg}} + Q_{\Sigma S_{шл, Mg}} + Q_{\Sigma S_{чуг, Mg}}, \quad (8)$$

где $Q_{\Sigma S_{кор, Mg}}$ – общая масса серы в корольках после десульфурации; $Q_{\Sigma S_{шл, Mg}}$ – общее количество серы в шлаке после десульфурации; $Q_{\Sigma S_{чуг, Mg}}$ – общее количество серы в чугуне после десульфурации с учетом корректировки его массы.

Для корректности сравнения общего количества серы в ковше до и после десульфурации воспользуемся показателем удельной массы, т.е. определим массу серы

на одну тонну чугуна: до обработки $W_{\Sigma S} = \frac{Q_{\Sigma S}}{Q_{чуг}}$; после

обработки $W_{\Sigma S, Mg} = \frac{Q_{\Sigma S, Mg}}{Q_{чуг, Mg}}$.

Если значение соотношения общего удельного количества серы в ковше до и после десульфурации чугуна магнием меньше единицы $\left(\frac{W_{\Sigma S, Mg}}{W_{\Sigma S}} < 1\right)$, следовательно,

часть серы выносится восходящими потоками из ковша. Тогда концентрация серы, уносимая в газовую фазу, для конкретного эксперимента составит

$$\Delta S_i = \frac{1 - W_{\Sigma S, Mg}}{W_{\Sigma S, Mg}} \cdot 100 \, \%. \quad (9)$$

Результаты расчетов баланса серы по экспериментальным обработкам заносим в табл. 3. При анализе полученных результатов следует отметить, что несмотря на различную емкость ковшей, данные о массе серы на тонну чугуна мало отличались между собой.

Уменьшение массы серы в ковшах после обессеривания достигает половины от исходной величины. Из анализа результатов исследования (табл. 3) следует, что

Таблица 3

Балансовые характеристики проведенных экспериментов

Показатель	Значение показателя для образца							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$Q_{\text{чуг}}, \text{ т}$	140	59	50	58	45	45	46	46
$W_{\text{мас}, i} = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^8 Q_i}$, доли единицы	0,2863	0,1207	0,1022	0,1186	0,0920	0,0920	0,0941	0,0941
Отношение массы шлака с корольками к массе чугуна, %	2,85	1,21	0,72	0,49	0,49	0,49	0,12	2,44
$Q_{\text{ср}} \cdot 10^4$, т серы	528,760	136,498	111,070	227,190	90,822	177,619	147,489	218,918
$Q'_{\text{ср}} \cdot 10^{-4}$, $\frac{\text{т серы}}{\text{т чугуна}}$	3,7769	2,3135	2,2214	3,9171	2,0183	3,9471	3,2063	4,7591
$Q_{\text{ср}, \text{Mg}} \cdot 10^4$, т серы	229,851	60,203	63,091	89,720	44,926	137,860	49,387	160,160
$Q'_{\text{ср}, \text{Mg}} \cdot 10^{-4}$, $\frac{\text{т серы}}{\text{т чугуна}}$	1,6418	1,0204	1,2618	1,5469	0,9984	3,0636	1,0736	3,4817
$\Delta Q'_{\text{ср}} \cdot 10^{-4}$, $\frac{\text{т серы}}{\text{т чугуна}}$	-2,1351	-1,2931	-0,9596	-2,3702	-1,0199	-0,8835	-2,1327	-1,2774
$\frac{Q'_{\text{ср}, \text{Mg}}}{Q'_{\text{ср}}}$, доли единицы	0,4347	0,4411	0,5680	0,3949	0,4947	0,7762	0,3349	0,7316
$\Delta S_i = \frac{-\Delta Q'_{\text{ср}} \cdot 10^4}{Q'_{\text{ср}} \cdot 10^4} \cdot 100 \%$	56,53	55,89	43,20	60,51	50,53	22,38	66,51	26,84

Примечание. Образец 1 – обработка чугуна Тонгхуанского МК; 2 – 4 – Жичжаосского МК; 5 – 8 – Юаньлийского МК.

уменьшение массы шлака после обработки чугуна магнием незначительно увеличивает концентрацию серы, уносимой отходящими газами. Наибольшее значение 66,5 % соответствует минимальному количеству шлака 0,12 % (образец 7, табл. 3). В ряде экспериментов количество серы, растворенной в корольках, превысило аналогичный показатель в шлаке.

Учитывая массовую долю серы каждого эксперимента $W_{\text{мас}, i}$ по формуле

$$\Delta S_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^8 \Delta S_i W_{\text{мас}, i},$$

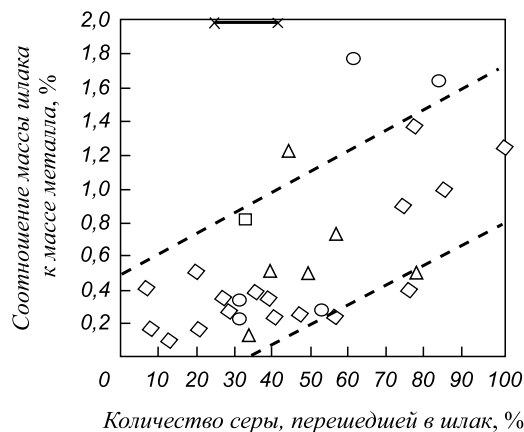
где ΔS_i – концентрация серы, выносимая газовым потоком, %, определили среднее количество серы, уносимой с отходящими потоками. Эта величина составляет $\Delta S_{\text{ср}} = 50,02 \%$.

Результаты этой работы сравнили с данными баланса серы, полученного в ходе промышленных обработок чугуна на заводах Донецком металлургическом [15], «Криворожсталь» [16], в Гамильтоне (Канада) [13] (см. рисунок), а также в ходе лабораторных исследований [12].

Из рисунка видно, что количество серы, перешедшее в шлак, увеличивается с ростом объема шлака в ковше. Данные, полученные в настоящей работе, хорошо согласуются с промышленными результатами других авторов. Определенный разброс данных можно объяснить погрешностью при измерении количества

шлака в ковше. Эту величину определяли исходя из высоты шлакового слоя и площади горловины ковша. При построении графика использовали обработки с содержанием шлака в ковше не более 1,8 % от массы чугуна.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что вынос сульфидов из металла с пылегазовой фазой уменьшается с ростом количества шлака в ковше. Данные промышленных обработок чугуна гранулированным магнием, использованные в настоящей работе, показали, что при достижении количества шлака в ковше более 1,8 %



Зависимость количества перешедшей серы в шлак от соотношения массы шлака к массе чугуна по данным различных источников:
 ◇ – [16]; □ – [13]; ○ – [15]; × – лабораторные исследования [12];
 △ – результаты настоящей работы

от массы чугуна практически вся удаленная из металла сера переходит в шлак. Эта величина будет меняться с изменением технологических параметров процесса десульфурации чугуна: интенсивностью продувки, размером образующихся пузырей, скоростью их всплывания, удельным расходом магния, начальным содержанием серы, составом и свойств ковшового шлака и прочими показателями. Косвенными подтверждениями этого вывода являются результаты лабораторных исследований [12] (см. рисунок). Количество шлака в ходе этих экспериментов оставалось равным 2 % от массы металла. Как видно из рисунка, эти результаты значительно отличаются от полученных в промышленных условиях.

Производственная практика показывает, что в ковшах после десульфурации бывает различное количество шлака, превышающее приведенное на рисунке. Так, по данным авторов работы [16], полученных на заводе «Криворожсталь» при десульфурации магния в ковшах без предварительного скачивания шлака, количество шлака было больше 2 %, а в некоторых обработках превышало 10 %. Расчет баланса серы для этих промышленных обработок показал, что вся удаленная из чугуна сера переходит в шлак. Причем в ряде случаев расчетное количество перешедшей серы в шлак превышало количество серы, удаленной из чугуна. Это, по-видимому, связано с тем, что при значительном увеличении количества шлака в ковше растет и погрешность в определении массы шлака.

Выводы. С использованием результатов промышленных обработок чугуна гранулированным магнием на заводах Китая был изучен механизм межфазного распределения серы. Предложен расчет баланса серы, который учитывает не только переход элементов из металла в шлак, но и влияние таких показателей, как изменение массы чугуна в ковше, связанное с окислением железа и образованием королек металла в шлаке, а также увеличение количества растворенной в корольках серы. Расчетно оценены закономерности распределения серы в системе чугун–шлак–газовая атмосфера при различном количестве ковшового шлака. Результаты расчетов сравнили с данными баланса серы, полученными различными авторами в ходе промышленных и лабораторных обработок чугуна магнием. Различия в технологических параметрах процесса десульфурации чугуна магнием в промышленных и лабораторных условиях

обеспечили значительное расхождение результатов. Все производственные данные хорошо коррелируют между собой. Вынос сульфидов магния из чугуна с пылегазовой фазой уменьшается с ростом количества шлака в ковше. В обработках с количеством шлака в ковше более 1,8 % от массы металла практически вся удаленная из чугуна сера переходит в ковшовый шлак.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. В 4-х т. 3-е изд. перераб. и расш. / Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев и др. – М.: Наука, 1978. – 560 с.
2. Гольдштейн Н.Л. Краткий курс теории металлургических процессов: Учебное пособие для вузов. – Свердловск: Metallurgizdat, 1961. – 334 с.
3. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – Киев, Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1986. – 280 с.
4. Попель С.Н., Сотников А.Н., Бороненков В.М. Теория металлургических процессов: Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1986. – 463 с.
5. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов: Учебное пособие для вузов / Григорян В.А., Стомахин А.Я., Пономаренко А.Г. и др. – М.: Металлургия, 1989. – 2278 с.
6. Irons G.A., Guthrie R.I.L. // Metallurgical Transactions. 1981. Vol. 12B, December. P. 755.
7. Мачикин В.И., Иванов А.К., Стадоновский Е.И. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1976. № 4. С. 29 – 32.
8. Ткач Н.Т., Курилова Л.П. и др. // Библиографический указатель ВИНТИ. 1981. № 6. С. 141.
9. Rudenko A.L., Shevchenko A.F., Vergun A.S. // Proceedings of the 7th International Conference MMT. 2012. Israel, August 20 – 23. P. 120 – 129.
10. Воронова Н.А., Привалов В.В., Апрегова Э.Г. и др. // Металлургия. 1978. № 5. С. 19 – 25.
11. Мачикин В.И., Зборщик А.Н., Стадоновский Е.Н. Повышение качества черных металлов. – Киев: Техника, 1981. – 160 с.
12. Чернятевич А.Г., Сигарев Е.Н., Чубин К.И. // Теория и практика металлургии. 2008. № 1. С. 3 – 7.
13. Воронова Н.А. // Черная металлургия. Бюл. научно-технич. инф. 1976. № 12. С. 3 – 23.
14. Вергун А.С., Людная П.С., Шевченко А.Ф., Руденко А.Л. // Металознавство та термічна обробка металів. 2007. № 1. С. 62.
15. Мачикин В.И., Складановский Е.Н. // Сталь. 1979. № 4. С. 251 – 254.
16. Исследование влияния количества, состава и свойств ковшевого шлака на кинетику десульфурации чугуна магнием в ковше: Отчет о НИР Л – 77 – 76. № 76009385. ИЧМ, 1976.

© 2014 г. Руденко А.Л.

Поступила 20 ноября 2013 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2014. No. 8. Vol. 57, pp. 13–18.

THE ANALYSIS OF PATTERNS OF INTERPHASE SULFUR DISTRIBUTION IN THE INJECTION TREATMENT OF IRON WITH MAGNESIUM

Rudenko A.L., *Cand. Sci. (Eng.), Research associate*
(office.isi@yandex.ru)

Institute of Ferrous Metallurgy named after Nekrasov Z.I., Ukrainian National Academy (1, Ak. Starodubova sq., Dnepropetrovsk, 49050, Ukraine)

Abstract. In order to clarify the mechanism of interfacial distribution and determine the balance of sulfur, the data from the full-scale experiments of magnesium desulfurization were used. While making up the sulfur balance, in addition to elements transfer from metal into the slag, the impact of the following factors was taken into the account – the change of molten metal mass in the ladle due to the iron oxidation

and generation of the metal droplets in the slag, as well as the increase of dissolved sulfur in the iron droplets. The calculated results were compared to various experimental data of the quantity of sulfur loss by upward streams. The dependence of sulfur loss degree from the slag amount and technological parameters of magnesium desulfurization of molten metal were determined.

Keywords: desulfurization, injection, waste gas, ladle slag.

REFERENCES

1. Gurvich L.V., Veits I.V., Medvedev V.A. etc. *Termodinamicheskie svoystva individual'nykh veshchestv* [Thermodynamic properties of individual substances]. Vols. 1–4. Moscow: Nauka, 1978. 560 p. (In Russ.).
2. Gol'dshteyn N.L. *Kratkii kurs teorii metallurgicheskikh protsessov* [A short course in the theory of metallurgical processes]. Sverdlovsk: Metallurgizdat, 1961. 334 p. (In Russ.).
3. Medzhibozhskii M.Ya. *Osnovy termodinamiki i kinetiki staleplavil'nykh protsessov* [Fundamentals of thermodynamics and kinetics of steelmaking processes]. Kiev, Donetsk: Vishha shkola. Golovnoe izd-vo, 1986. 280 p. (In Russ.).
4. Popel' S.N., Sotnikov A.N., Boronkov V.M. *Teoriya metallurgicheskikh protsessov* [Theory of metallurgical processes]. Moscow: Metallurgiya, 1986. 463 p. (In Russ.).
5. Grigoryan V.A., Stomakhin A.Ya., Ponomarenko A.G. etc. *Fiziko-khimicheskie raschety elektrostaleplavil'nykh protsessov* [Physico-chemical calculations of EAF processes]. Moscow: Metallurgiya, 1989. 2278 p. (In Russ.).
6. Irons G.A., Guthrie R.I.L. *Metallurgical Transactions*. 1981. Vol. 12B, December, pp. 755.
7. Machikin V.I., Ivanov A.K., Stadonovskii E.I. Some features of mass exchange processes during external desulphurization with magnesium. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 1976, no. 4, pp. 29–32. (In Russ.).
8. Tkach N.T., Kurilova L.P. etc. *Bibliograficheskii ukazatel' VINITI*. 1981. Vol. 6, pp. 141. (In Russ.).
9. Rudenko A.L., Shevchenko A.F., Vergun A.S. Proceedings of the 7th International Conference MMT. 2012. Israel, August 20–23, pp. 120–129.
10. Voronova N.A., Privalov V.V., Apretova E.G. etc. *Metallurgiya*. 1978, no. 5, pp. 19–25. (In Russ.).
11. Machikin V.I., Zborshchik A.N., Stadonovskii E.N. *Povyshenie kachestva chernykh metallov* [Improvement of the quality of ferrous metals]. Kiev: Tekhnika, 1981. 160 p. (In Russ.).
12. Chernyatevich A.G., Sigarev E.N., Chubin K.I. Specific kinetics of pig iron desulphurization with injection of dispersed magnesium. *Teoriya i praktika metallurgii*. 2008, no.1, pp. 3–7. (In Russ.).
13. Voronova N.A. *Chernaya metallurgiya. Byul. nauchno-tekhnich. inf.* 1976, no.12, pp. 3–23. (In Russ.).
14. Vergun A.S., Lyudnaya P.S., Shevchenko A.L. *Metaloobrabotkova ta termichna obrobka metaliv*. 2007, no.1, p. 62. (In Ukr.).
15. Machikin V.I., Stadonovskii E.N. *Stal'*. 1979, no. 4, pp. 251–254. (In Russ.).
16. *Issledovanie vliyaniya kolichestva, sostava i svoystv kovshevogo shlaka na kinetiku desul'furatsii chuguna magniem v kovshe: Otchet o NIR L – 77 – 76*. [Investigation of the influence of quantity, composition and properties of ladle slag on the kinetics of magnesium desulphurization in the ladle: A Research report–77–76.]. no. 76009385. IChM, 1976. (In Russ.).

Received November 20, 2013

УДК 669.046

ПРОАКТИВНЫЕ РЕМОНТЫ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Коротков В.А., д.т.н., профессор (vk@udgz.ru)

Нижнетагильский технологический институт -
филиал Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
(622031, Россия, Свердловская область, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59)

Аннотация. Проактивные ремонты предполагают меры по замедлению образования дефектов (трещин, износа), вызывающих их проведение. В этом случае увеличивается послеремонтная наработка механизмов, что существенно снижает ремонтные расходы и простои. Приведены результаты проактивных ремонтов на некоторых уральских предприятиях.

Ключевые слова: ремонт, упрочнение, проактивные ремонты.

В металлоемкой металлургической отрасли ремонтные потери (в денежном и временном выражениях) составляют значительную величину, поэтому их сокращение представляет актуальную задачу.

Во время ремонтных остановок производства выполняется ревизия механизмов с определением недопустимых дефектов, после чего проводится непосредственно ремонт, т.е. замена забракованных деталей новыми. Массивные части оборудования (корпуса прессов и дробилок, крышки мельниц, траверсы и др.) не заменяются, но выполняются работы по устранению имеющихся дефектов (трещины, износ).

С 90-х годов при ремонтах стала применяться вибродиагностика, т.е. определение дефектов по вибра-

ционному фону, создаваемому работающим оборудованием. Она в значительной мере сокращает ревизионные простои, связанные с разборкой и осмотром механизмов. Кроме того, вибродиагностика позволяет сократить складские запасы запчастей, так как состояние механизмов непрерывно отслеживают, поэтому закупают только необходимое.

Если опустить совершенствование технологий сборки-разборки, чем занимаются постоянно, то для дальнейшего сокращения ремонтных затрат остается одно средство – увеличение послеремонтной наработки оборудования. Это достигается мерами по замедлению образования дефектов (трещин, износа), вынуждающих к замене деталей. Ремонты, выпол-