

УДК 669.162.267.6:669.72

А.С.Вергун, А.Ф.Шевченко, В.Г.Кисляков, Б.В.Двоскин**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ И ДЕГАЗАЦИИ ЧУГУНА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЕГО ДИСПЕРГИРОВАННЫМ МАГНИЕМ, ВВОДИМЫМ В РАСПЛАВ В СТРУЕ ГАЗА-НОСИТЕЛЯ***Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины*

Целью работы являлось экспериментальное исследование в промышленных условиях поведения кислорода, водорода и азота в чугуне в процессе десульфурации его гранулированным магнием. В промышленных условиях выявлены особенности удаления газов из чугуна при десульфурации расплава диспергированным магнием, инжектируемым в чугун через фурму погружения в струе различных газов-носителей. Установлено, что решающее влияние на дегазацию чугуна при его десульфурации играет тип транспортирующего газа.

Ключевые слова: чугун, десульфурация, гранулированный магний, содержание газов в чугуне

Состояние проблемы. Дегазация железоуглеродистого расплава при его ковшевой обработке может протекать либо вследствие образования и эвакуации из расплава соответствующих соединений в виде неметаллических включений либо эвакуации их в виде газообразной фазы в объеме всплывающих в расплаве газовых пузырей газа-носителя и реагента. Совмещение процессов десульфурации чугуна магнием и его дегазации целесообразно по нескольким причинам. Во-первых, десульфурация чугуна магнием позволяет достичь низкого содержания серы в расплаве, что является хорошей предпосылкой для протекания процессов дегазации вследствие очищения межфазной поверхности "металл-газ" от поверхностно активной серы. Во-вторых, испаряясь в чугуне, магний образует дополнительный объем газа с парциальным давлением удаляемых газов равным нулю, что увеличивает степень десорбции этих газов из расплава. В-третьих, магний сам может соединяться с азотом и кислородом, образуя Mg_3N_2 и MgO . Степень удаления газов в данном случае определяется условиями осуществления процесса десульфурации и параметрами технологии (состав газа-носителя, удельный расход реагента на десульфурацию, исходное содержание газов в чугуне и т.п.).

Целью работы являлось экспериментальное исследование в промышленных условиях поведения кислорода, водорода и азота в чугуне в процессе десульфурации его гранулированным магнием, вводимым в расплав фурмой погружения в струе различных газов-носителей (воздух азот, природный газ, аргон) в ковшах различной емкости (от 75 до 350 т).

Основные результаты исследования. В результате исследования поведения кислорода в чугуне в процессе десульфурации его магнием, вводимым в струе воздуха (табл.1) было установлено закономерное снижение содержания кислорода в чугуне после десульфурации.

Таблица 1. Результаты исследования поведения кислорода в чугуна при десульфурации чугуна магнием, вводимым в струе воздуха (140 т ковша)

№	$qMg_{сп}$ кг/т чуг.	Содержание серы, %		ΔS , % абс.	ΔS , % отн.	$Mg_{ост.}$ %	Содержание O_2 , %		ΔO , % абс.	ΔO , % отн.
		до про- двки	после				до про- двки	после		
1	0,72	0,022	0,009	0,013	59,1	0,02	0,0067	0,0022	0,0045	67,2
2	0,48	0,028	0,009	0,019	67,9	0,015	0,0058	0,0019	0,0039	67,2
3	0,5	0,027	0,013	0,014	51,9	0,0091	0,0055	0,0032	0,0023	41,8
4	0,58	0,025	0,008	0,017	68,0	0,019	0,0088	0,0018	0,007	79,5
5	0,72	0,032	0,009	0,023	71,9	0,016	0,0067	0,0027	0,004	59,7
6	0,38	0,026	0,015	0,011	42,3	0,01	0,0058	0,0042	0,0016	27,6
7	0,4	0,023	0,011	0,012	52,2	0,011	0,0065	0,0031	0,0034	52,3
8	0,54	0,026	0,011	0,015	57,7	0,0143	0,0065	0,0027	0,0038	58,5
Σ	0,54	0,026	0,011	0,016	58,9	0,0143	0,007	0,003	0,0038	56,7

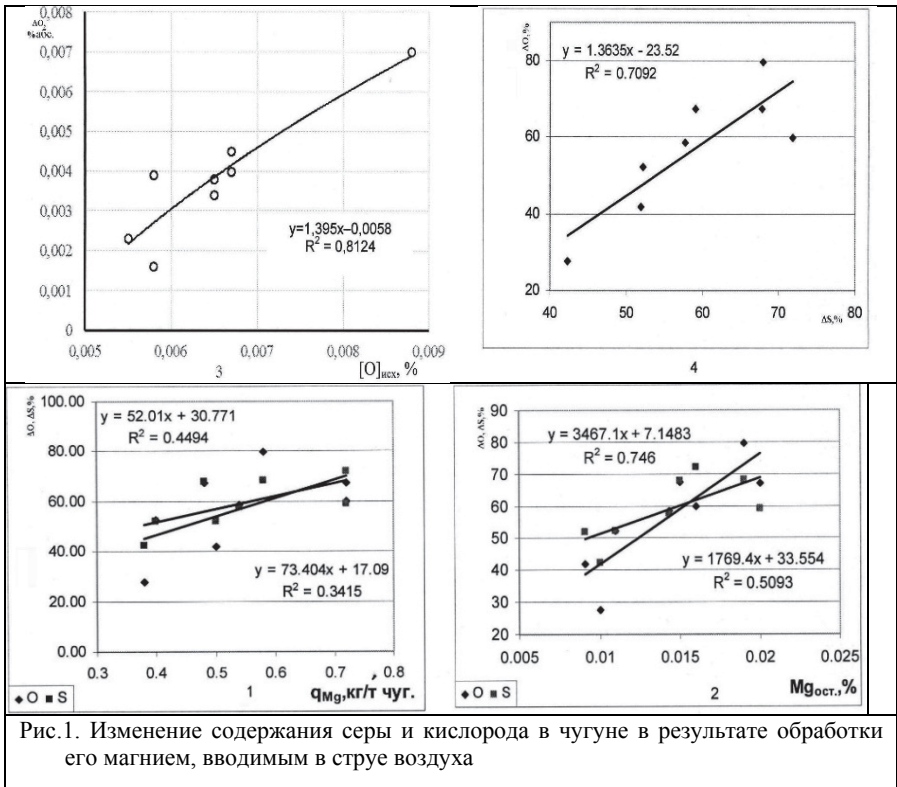


Рис.1. Изменение содержания серы и кислорода в чугуна в результате обработки его магнием, вводимым в струе воздуха

Таблица 2. Изменение содержания кислорода и азота в чугуне при десульфурации чугуна магнием, вводимым в струе природного газа (140-г ковш)

№ П/П	Q_{Mg} , кг/т	Q_{MgH_2} , кг/т	$S_{исх}$, %	$S_{кон}$, %	ΔS , % абс.	ΔS , % отн.	$Mg_{сст.}$, %	$O_{исх}$, %	Ожж %	ΔO , % абс.	ΔS , % отн	$N_{исх}$, %	$N_{кон}$, %	ΔN , %	ΔN , % отн
1	0,375	0,341	0,025	0,005	0,02	80	0,01	0,0086	0,0024	0,0062	72,093	0,00553	0,00527	0,00026	4,7016
2	0,469	0,427	0,086	0,06	0,026	30,23	0,006	0,0052	0,0037	0,0015	28,8462	0,0059	0,0049	0,001	16,9492
3	0,654	0,595	0,046	0,009	0,037	80,43	0,013	0,0056	0,004	0,0016	28,5714	0,0056	0,0051	0,0005	8,9286
4	0,432	0,393	0,03	0,007	0,023	76,67	0,0087	0,008	0,0035	0,0045	56,25	0,0068	0,0055	0,0013	19,1177
5	0,427	0,389	0,035	0,013	0,022	62,86	0,0093	0,0055	0,0032	0,0023	41,8182	0,00943	0,0091	0,00033	3,4995
6	0,472	0,43	0,036	0,006	0,03	83,33	0,011	0,0101	0,0027	0,0074	73,2673	0,00605	0,0068	-0,0008	-12,397
7	0,693	0,631	0,028	0,006	0,022	78,57	0,016	0,0141	0,003	0,0111	78,7234	0,0045	0,004	0,0005	11,1111
8	0,394	0,359	0,041	0,021	0,02	48,78	0,01	0,0113	0,00855	0,00275	24,3363	0,00945	0,00385	0,00565	59,7884
9	0,334	0,304	0,036	0,019	0,017	47,22	0,008	0,0083	0,00531	0,00382	46,0121	0,00668	0,00522	0,00135	20,2096
Σ	0,472	0,430	0,040	0,016	0,024	65,34	0,0102	0,0085	0,0040	0,0046	49,9909	0,0067	0,0055	0,0011	14,6566

Поскольку природный газ при нагревании до температуры жидкого чугуна разлагается с выделением водорода, то в реакционной зоне следует ожидать повышенную концентрацию водорода. Повышение парциального давления водорода в газовой фазе является предпосылкой для возможного увеличения содержания водорода в чугуне при использовании в качестве газа-носителя природного газа.

Результаты промышленных экспериментов, представленных в табл.3 свидетельствуют о том, что в результате десульфурации чугуна магнием, вводимым в расплав в струе природного газа, имеет место поглощение металлом водорода, образующегося в результате конверсии природного газа.

Расчетной оценкой результатов промышленных экспериментов установлено, что до 30 % водорода, образующегося при разложении в металлическом расплаве транспортирующего реагент природного газа, усваивается металлическим расплавом. При этом содержание водорода в чугуне увеличивается в 1,5–2,0 раза, с 3,1–3,6 мл/100 г до 5,3–6,5 мл/100 г.

Таблица 3. Влияние обработки чугуна магнием, вводимым в чугун в струе природного газа на поведение в чугуне серы, кислорода и водорода (140-т ковш)

№ п/п	Удельный расход магния, кг/т чугуна	Содержание серы, %		Содержание кислорода, %		Mg _{гост.} , %	Удельный расход водорода, мл/100 г	Содержание водорода, мл/100 г		содержания водорода, мл/100 Усвоенное количество водорода, %	
		до обработки	после обработки	до обработки	после обработки			до обработки	после обработки		
1	0,64	0,037	0,010	0,0054	0,0012	0,0180	12,0	3,1	6,5	3,45	30
2	0,91	0,051	0,006	0,0046	0,0014	0,0260	16,0	3,57	5,29	1,72	11
3	0,43	0,033	0,010	0,0045	0,0030	0,0081	12,0	3,3	6,4	3,1	26

При исследовании поведения азота в чугуне в процессе десульфурации чугуна магнием с использованием в качестве газа-носителя различных газов (воздух, азот, природный газ) были проведены промышленные обработки чугуна в 140-тонных ковшах, результаты которых приведены в табл.4. При вводе магния в чугун в струе азота (обр.1–3, табл.4) при начальном содержании азота в чугуне 0,007–0,008 % имеет место насыщение чугуна азотом на 0,001 %. В случае исходного содержания азота в чугуне 0,009 % (вероятно, близкого к равновесному для данных условий) не установлено изменение содержания азота в металле в результате десульфурации. Использование при десульфурации чугуна в качестве транспортирующего газа воздуха не сопровождается изменением содержания азота в чугуне (обр.8,9). Даже при относительно высоком начальном содержании азота в чугуне (0,010 %), значительном

удельном массовом расходе магния (0,77 кг/т и 1,35 кг/т чугуна) и низком содержании серы после обработки (0,003–0,008 %) содержание азота в чугуне осталось неизменным (0,010 %).

Таблица 4. Изменение содержания азота и серы в чугуне при десульфурации чугуна гранулированным магнием, вводимым в струе различных газов-носителей (140-т ковш)

№ п/п	q_{Mg} , кг/т	Газ-носит.	$S_{исх.}$, %	$S_{кон.}$, %	ΔS , %	$N_{исх.}$, %	$N_{кон.}$, %	ΔN , %	$\Delta S_{отн.}$, %	$\Delta N_{отн.}$, %	Мч.т.
1	0,869	азот	0,035	0,007	0,028	0,009	0,009	0	80,0	0,0	69
2	0,851	азот	0,025	0,01	0,015	0,007	0,008	-0,001	60,0	-14,3	
3	0,762	азот	0,035	0,011	0,024	0,008	0,009	-0,001	68,6	-12,5	84,0
4	0,909	пр.газ	0,031	0,008	0,023	0,010	0,008	0,002	74,2	20,0	70,0
5	0,481	пр.газ	0,023	0,014	0,009	0,010	0,007	0,003	39,1	30,0	93,6
6	0,508	пр.газ	0,038	0,014	0,024	0,009	0,008	0,001	50,0	11,1	98,4
7	0,45	пр.газ	0,012	0,006	0,006	0,007	0,006	0,001	50,0	14,3	33,4
8	0,77	воздух	0,017	0,003	0,014	0,010	0,010	0	82,4	0,0	93,0
9	1,35	воздух	0,024	0,008	0,016	0,010	0,010	0	66,7	0,0	72,0

Исключение азота из состава транспортирующего газа путем замены его на природный газ оказало влияние на содержание азота в чугуне. Степень попутной деазотации чугуна при этом составила 11–30 % при начальном содержании азота в чугуне 0,007–0,010 % и степени десульфурации чугуна 36,8–74 %. Дальнейшее более детальное исследование влияния некоторых параметров процесса инжектирования (удельный расход газа-носителя), а также некоторых характеристик чугуна (содержание в нем азота до обработки) были выполнены на основе результатов промышленных обработок, представленных в табл.5 и на рис.2.

Установлено, что с увеличением удельного расхода транспортирующего газа (природного газа) при десульфурации степень деазотации чугуна увеличивается. Т.е. барботаж через металлическую ванну большего количества газовых пузырей с парциальным давлением азота в них около 0 способствует "вымыванию" большего количества растворенного в металле азота. Вероятно увеличение площади межфазной поверхности "газ–металл" в результате увеличения количества барботируемых пузырей способствует процессу деазотации чугуна.

Удаление азота из чугуна при десульфурации его магнием зависит от начального содержания азота в чугуне. При низком исходном содержании азота в чугуне менее 0,006 % имел место случай повышения содержания азота в чугуне. При исходном содержании азота в чугуне 0,007 % и более наблюдается устойчивая деазотация чугуна. Исходное содержание азота в чугуне 0,006 % является близким к равновесному значению, поэтому в

данном случае встречные процессы удаления азота из расплава и поглощение азота расплавом уравновешены.

Таблица 5. Результаты десульфурации чугуна магнием, вводимым в струе природного газа (140-т ковш)

№ п/п	Удельный расход магния, кг/т	Удельный расход газа-носителя, л/т	Содержание серы, %		$Mg_{ост.}$, %	Содержание азота, %		ΔN , %
			$S_{исх.}$, %	$S_{кон.}$, %		$N_{исх.}$, %	$N_{кон.}$, %	
1	0,51	115	0,018	0,009	0,013	0,0058	0,0058	0
2	0,49	110	0,018	0,006	0,022	0,0066	0,0074	0,0008
3	0,34	90	0,029	0,01	0,0086	0,0049	0,0065	0,0016
4	0,53	160	0,027	0,006	0,018	0,0089	0,0076	-0,0013
5	0,54	125	0,03	0,006	0,016	0,0085	0,0074	-0,0011
6	0,31	90	0,03	0,011	0,01	0,007	0,0065	-0,0005
7	0,42	125	0,048	0,018	0,0091	0,0081	0,0072	-0,0009
8	0,33	115	0,019	0,009	0,013	0,0067	0,0064	-0,0003
9	0,34	115	0,033	0,01	0,011	0,0063	0,0063	0
10	0,5	80	0,029	0,01	0,14	0,0078	0,0079	0,0001

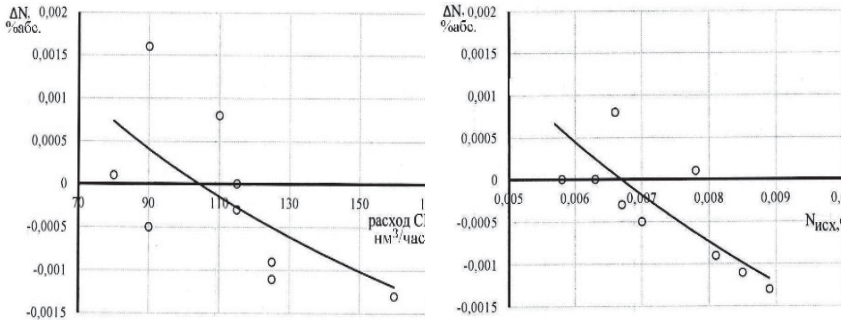


Рис.2. Зависимость изменения содержания азота в чугуне в результате десульфурации чугуна магнием от удельного массового расхода транспортирующего газа (а) и исходного содержания азота в чугуне (б)

В табл.6 представлены результаты промышленных обработок чугуна магнием в 350 т заливочных ковшах с использованием в качестве транспортирующего газа аргона. Наблюдается попутная деазотация чугуна (до 30 %) при десульфурации его магнием, вводимым в струе аргона.

При исследовании зависимости степени деазотации чугуна от некоторых параметров процесса и характеристик системы не установлена взаимосвязь между степенью деазотации чугуна и содержанием $Mg_{ост.}$ в чугуне. Установлена взаимосвязь между расходом реагента и попутной деазотацией чугуна (рис.3). Наряду с выявленной достаточно тесной взаимосвязью между расходом магния и степенью десульфурации чугуна

выявлена слабая зависимость степени деазотации чугуна от удельного расхода магния на десульфурацию.

Отсутствие взаимосвязи между $Mg_{ост}$ и степенью деазотации чугуна, а также наличие взаимосвязи между расходом магния и степенью деазотации чугуна дают основание считать, что преимущественным в данном случае является механизм "вымывания" азота из расплава, а не механизм химического взаимодействия магния и азота.

Таблица 6. Результаты обработки чугуна магнием, вводимым в чугун в струе аргона (350-т заливочный ковш)

№ п/п	Mg, кг/т чугу.	[S]исх, %	[S]кон, %	ΔS , %абс.	ΔS , %отн.	Mg ост, %	[N]исх	[N]кон	ΔN , %абс.	ΔN , %отн.
1	0,183	0,025	0,007	0,018	72,0	0,006	0,0074	0,0065	0,0009	12,2
2	0,143	0,012	0,004	0,008	66,7	0,006	0,0087	0,0075	0,0012	13,8
3	0,134	0,01	0,006	0,004	40,0	0,01	0,0083	0,0078	0,0005	6,0
4	0,114	0,008	0,003	0,005	62,5	0,02	0,0077	0,0068	0,0009	12,9
5	0,168	0,006	0,002	0,004	66,7	0,018	0,0079	0,0066	0,0013	16,5
6	0,13	0,019	0,007	0,012	63,2	0,004	0,009	0,008	0,001	11,1
7	0,044	0,022	0,018	0,004	18,2	0,003	0,008	0,008	0	0,0
8	0,148	0,015	0,007	0,008	53,3	0,004	0,01	0,007	0,003	30,0
9	0,13	0,014	0,006	0,008	57,1	0,003	0,009	0,008	0,001	11,1
10	0,116	0,033	0,004	0,029	87,9	0,015	0,008	0,008	0	0,0
11	0,121	0,004	0,002	0,002	50,0	0,01	0,008	0,006	0,002	25,0
12	0,116	0,017	0,01	0,007	41,2	0,004	0,009	0,007	0,002	22,2
13	0,121	0,017	0,011	0,006	35,3	0,005	0,01	0,008	0,002	20,0

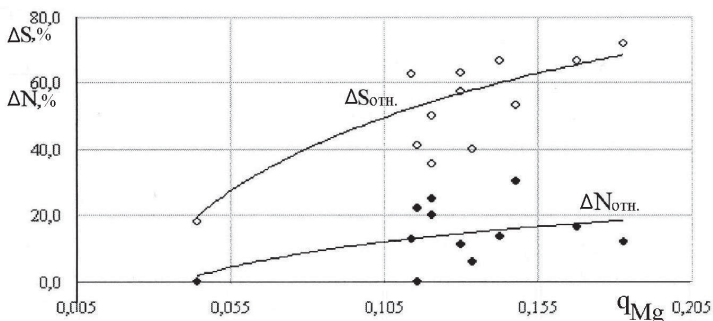


Рис.3. Зависимость степени десульфурации и деазотации чугуна от удельного массового расхода магния при вводе его в чугун в струе аргона (350 т ковш). $\Delta S_{отн.} = 72,639 - 111,5 q_{Mg}$; $r = 0,53$; $\Delta N_{отн.} = 21,079 - 45,17 q_{Mg}$; $r = 0,44$

Выводы. Таким образом, экспериментальным путем установлено, что решающее влияние на попутную дегазацию чугуна при его

десульфурации інжектуванням гранульованого магнія грає тип транспортуючого газу. Якщо вміст кисню в чугуні в усіх випадках (повітря, азот, аргон, природний газ) після десульфурации зменшується на 60–80 %, то вміст азоту в чугуні при використанні як транспортуючого газу азоту збільшується на 12–14 %, при використанні повітря – не змінюється, а при використанні природного газу або аргону, зменшується на 10–22 %.

Вміст водню в чугуні при десульфурации магнієм в струмі природного газу може збільшуватися в 1,5–2,0 рази (від 3,1–3,6 мл/100 г до 5,3–6,5 мл/100 г). Параметри процесу десульфурации впливають на попутну дегазацію чугуну в меншій ступені.

*Стаття рекомендована до друку
докт.техн.наук А.Ф.Шевченко*

О.С.Вергун, А.П.Шевченко, В.Г.Кисляков, Б.В.Двоскін

Основні положення технології десульфурации і дегазації чавуну при обробці його диспергованим магнієм, що вводиться в розплав у струмені газу-носія

Метою роботи було експериментальне дослідження в промислових умовах поведінки кисню, водню і азоту в чавуні в процесі десульфурации його гранульованим магнієм. У промислових умовах виявлено особливості видалення газів з чавуну при десульфурации розплаву диспергованим магнієм, інжектуємого в чавун через фурму занурення в струмені різних газів-носіїв. Встановлено, що вирішальний вплив на дегазацію чавуну при його десульфурации грає тип транспортує газу.

Ключові слова: чавун, десульфурация, гранульований магній, вміст газів

A.S.Verhun, A.F.Shevchenko, V.G.Kisliakov, B.V.Dvoskin

Significant technology of desulfurization and degassing pig iron dispersed by treating it with magnesium injected to the melt in the gas jet

The aim of the work was an experimental study in an industrial setting behavior of oxygen, hydrogen and nitrogen in the iron during the desulfurization of its granulated magnesium. Industrially peculiarities venting during desulfurization of iron melt dispersed magnesium injected into pig iron through the lance immersion in the jet the various carrier gases. It is found that the decisive influence on the type of degassing iron plays a carrier gas at its desulfurization.

Keywords: pig iron, desulfurization, granular magnesium content of gases