

УДК 669.162.267.6:669.721

**А. С. Вергун, А. Ф. Шевченко, В. Г. Кисляков, Л. С. Молчанов,
Б. В. Двоскин**

КОМПЛЕКСНАЯ ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ И ДЕГАЗАЦИЯ ЧУГУНА МАГНИЕМ

Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины

Целью работы является теоретическое и экспериментальное исследование поведения кислорода, водорода и азота в чугуне в процессе десульфурации его гранулированным магнием. Выполнена расчетно-аналитическая оценка процессов образования и всплывания газовых пузырей при вводе диспергированного магния в металлический расплав в струе аргона. Расчетным путем установлено, что при вводе диспергированного магния в чугун в струе аргона через фурму с диаметром сопел 7 мм на глубину 3 м образуются пузыри аргона с диаметром 25 мм. Установлена термодинамическая вероятность протекания процессов взаимодействия магния с кислородом, азотом и водородом чугуна при его десульфурации. Установлено, что процессы десульфурации и раскисления чугуна протекают во всем диапазоне исследуемых давлений, а процесс образования нитрида магния возможен только при избыточном давлении в системе «газ – металл» на глубине расплава чугуна более 1,4 метра. Экспериментами в промышленных условиях выявлены особенности удаления кислорода, азота и водорода из чугуна при десульфурации расплава диспергированным магнием в струе различных газов-носителей. Экспериментальным путем установлено, что решающее влияние на попутную дегазацию чугуна при его десульфурации инжектированием гранулированного магния оказывает тип транспортирующего газа. При использовании в качестве транспортирующего газа азота или аргона содержание водорода в чугуне снижается на 50-70%.

Ключевые слова: чугун, десульфурация, магний, содержание газов в расплаве, транспортирующий газ

Состояние вопроса. Повышение требований к физико-механическим и служебным свойствам металлоизделий ставит перед металлургами задачу выплавки металла повышенной чистоты по вредным примесям. Актуальной является задача получения высококачественной стали с суммарным содержанием вредных примесей (S+P+N+O+H) не более 0,010 %. Достижение требуемого содержания отдельных примесей в стали опережается качеством выполнения операций по их удалению, которые не всегда протекают в оптимальных условиях.

Одним из важнейших нежелательных элементов при выплавке целого ряда чистых сталей (например, нестареющих сталей для производства холоднокатаного листа категории особосложной вытяжки) является азот [1]. Значительная часть азота вносится в ванну конвертера чугуном, содержащим обычно 0,006–0,012 % азота [2, 3].

Водород является нежелательной примесью в ряде марок стали

(особенно, трубного сортамента), поскольку является источником образования флокенов. Основными источниками водорода при выплавке и разливке стали является влага ферросплавов и твердых шлакообразующих смесей (ТШС). Опыт производства низкосернистой стали трубного сортамента с применением технологии десульфурации стали ТШС [4] свидетельствует о том, что при таком варианте технологии возможно насыщение стали водородом из поглощаемой ТШС влаги. По этой причине авторы рекомендуют сократить объем подаваемых в сталеразливочный ковш гигроскопичных материалов (ТШС) путем использования при выплавке стали обессеренного чугуна.

Проблема десульфурации чугуна успешно решается путем применения эффективной технологии обработки чугуна инжектированием диспергированного магния в струе газа-носителя через фурму погружения [5,6].

Совмещение процессов дегазации чугуна и его десульфурации магнием целесообразно по нескольким причинам. Во-первых, десульфурация чугуна магнием сопровождается получением низких содержаний серы в металле, что является хорошей предпосылкой для протекания процессов переноса газов из металлической в газовую фазу вследствие очищения межфазной поверхности «металл-газ» от поверхностно активной серы. Во-вторых, испаряясь в чугуне, магний образует дополнительный объем парообразного магния с парциальным давлением в нем удаляемого газа равным нулю, что способствует десорбции газов из расплава. В-третьих, магний сам может соединяться с азотом и кислородом, образуя Mg_3N_2 и MgO .

Целью работы являлось теоретическое и экспериментальное исследование 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.

Основные результаты исследования. Аналитические расчеты были выполнены для реальных промышленных условий (температура чугуна $1350^{\circ}C$; глубина погружения фурмы – 3 м; диаметр частицы магния 1,6 мм.

Для упрощения математической формы расчёта были приняты следующие допущения:

- образующийся газовый пузырь равномерно всплывает в объёме жидкого чугуна и имеет форму сферы;
- пузыри, образуемые газом-носителем и парами магния, самостоятельно всплывают в объёме расплава и не смешиваются;
- переход магния растворенного в чугуне в полость пузыря, образованного газом-носителем, не происходит.

В процессе ввода в чугун зернистого магния в токе газа носителя образуются два вида пузырей, отличных по своей природе (пузыри аргона

и пузыри паров магния). Механизмы образования каждого из них следующие.

Пузыри аргона

При инъекции зернистого магния в токе аргона размеры образуемых пузырей аргона можно оценить исходя из предположения, что к моменту отрыва от сопла его подъёмная сила равна удерживающей силе поверхностного натяжения. Тогда диаметр пузыря можно определить из равенства:

$$\pi D_{\text{сопла}} \sigma = \frac{4}{3} \pi r_{\text{пуз}}^3 q (\rho_1 - \rho_2) \quad (1)$$

где $D_{\text{сопла}}$ – диаметр сопла, м; σ – поверхностное натяжение расплава, Н/м;

ρ_1 и ρ_2 – плотность расплава и газа, кг/м³.

Значения σ и ρ_1 получены путем аппроксимации данных, представленных в работе [7].

Обобщенные результаты расчетов для пузыря аргона представлены в виде зависимости изменения радиуса пузыря от времени и изменение содержания азота и водорода в пузыре от времени всплывания (рис. 1).

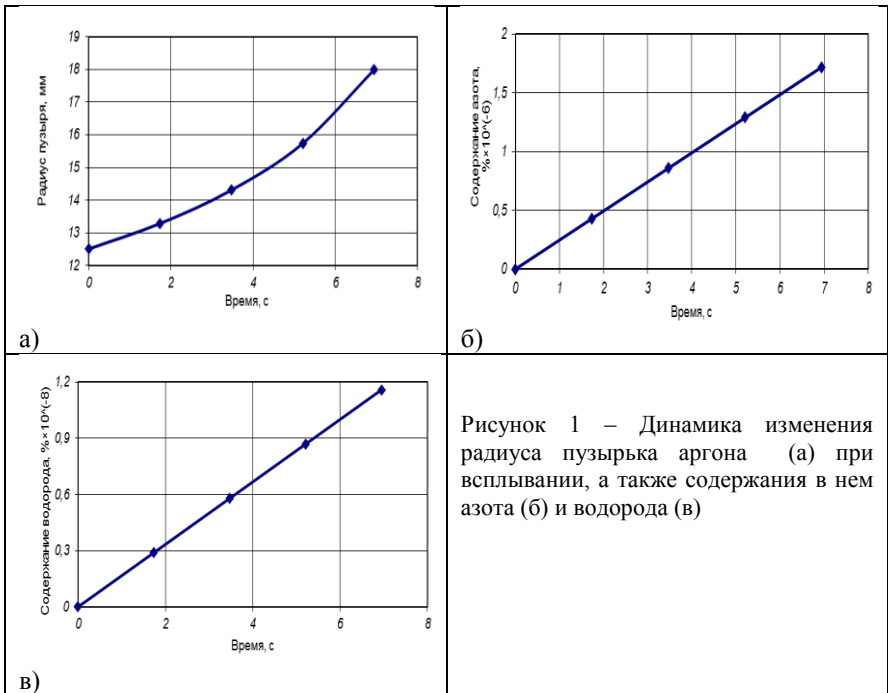


Рисунок 1 – Динамика изменения радиуса пузырька аргона (а) при всплывании, а также содержания в нем азота (б) и водорода (в)

Таким образом, по результатам проведенных расчётов можно сделать

следующий вывод: радиус пузыря аргона при всплывании изменяется от 12,5 до 18 мм, а содержание азота и водорода в нем достигает величины $1,6 \cdot 10^{-6} \%$ и $1,2 \cdot 10^{-6} \%$ соответственно.

Пузыри паров магния

Основные закономерности всплывания пузырей, образованных парами магния, аналогичны пузырям аргона, за исключением того, что частицы магния начинают всплывать ещё в твёрдом и жидком виде до полного испарения. Помимо этого объём пузырей магния значительно зависит от параллельных химических процессов, которые имеют место. Так, по результатам приведенного ниже термодинамического анализа определено, что процессы раскисления, десульфурации и насыщения чугуна магнием протекают на протяжении всего времени движения пузыря, а процесс нитридообразования возможен только при всплывании пузыря до уровня 1,41 м.

По результатам проведенных расчётов получены зависимости изменения радиуса пузыря во времени и динамика расхода магния (рис.2).

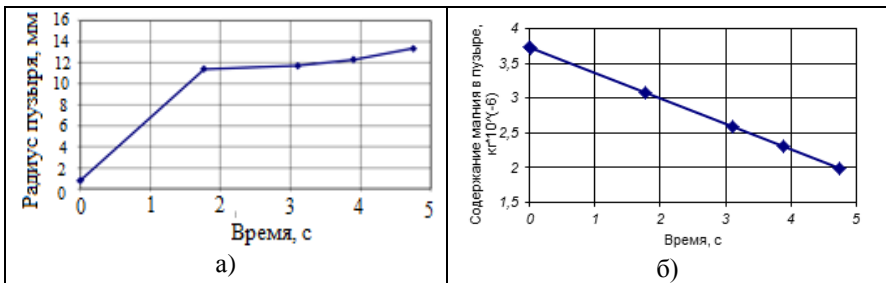


Рисунок 2 - Динамика изменения радиуса пузыря паров магния (а) и содержания магния в пузыре (б) в процессе всплывания

Таким образом, в результате проведенных расчётов для пузырей, образованных парами магния, установлено, что радиус пузыря при всплывании меняется от 11,4 до 13,4 мм.

Поскольку в составе чугуна содержатся азот и водород, то они по закону Сиверта будут поступать в объём пузыря из расплава. Для упрощения расчёта принято, что их поступление в пузырь равномерно. Установлено, что для пузыря аргона объёмом $2,44 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ максимально возможное количество удалённого водорода составляет $2,83 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3$, азота - $4,19 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3$. Для пузыря, образованного испарением частицы магния диаметром 1,6 мм, максимально возможное количество удалённого водорода составляет $6,43 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3$, азота - $7,01 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3$.

Анализируя процессы, протекающие в системе «жидкий чугун – магний» можно выделить следующие реакции: окисление растворенного магния кислородом, присутствующим в чугуне; образование нитрида магния при участии азота, растворенного в чугуне; непосредственно

процесс десульфурации расплава; (химические уравнения и температурные зависимости энергии Гиббса приведены в таблице 1).

Для вышеприведенных реакций проанализировано влияние давления на прирост энергии Гиббса при температуре 1350 °С по уравнению (2) [8]:

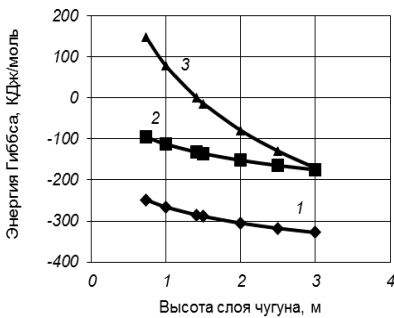
$$\Delta G^0 = -RT \ln K_p + RT \sum n \ln p \quad (2)$$

где n – число молей газообразных веществ, участвующих в химической реакции; p – избыточное давление, которое испытывает система, атм.

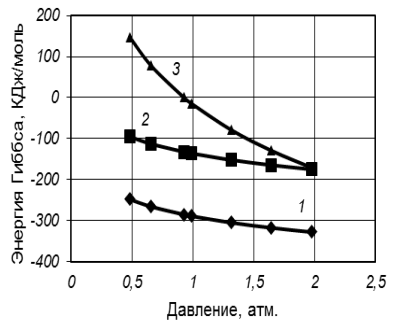
Результаты расчёта по данному уравнению приведены на рис. 3.

Таблица 1. Температурные зависимости энергии Гиббса некоторых реакций, протекающих при десульфурации чугуна магнием

№ п/п	Реакция	ΔG , кал / моль ($4,19 \times \text{Дж} / \text{моль}$)
1	$\{\text{Mg}\} + \{\text{O}\} = \langle \text{MgO} \rangle$	$-164610 - 7,37 \times T \times \ell \text{ g T} + 82,52 \times T$
2	$\{\text{Mg}\} + \{\text{S}\} = \langle \text{MgS} \rangle$	$-104100 + 44,07 \times T$
3	$3 \{\text{Mg}\} + \{\text{N}_2\} = \langle \text{Mg}_3\text{N}_2 \rangle$	$-217100 + 131,30 \times T$



а



б

Рисунок 3. Зависимости изменения энергии Гиббса для реакций, приведенных в таблице 1 при температуре 1350°С: а – при изменении высоты слоя жидкого чугуна (а); б – при изменении давления в системе (б). Цифры у кривых – номера химических реакций в таблице 1

Установлено, что значительное влияние на химическое превращение, описываемое реакцией (3) в таблице 1, имеет давление. Так по достижению системой избыточного давления на уровне 0,928 атм. (соответствует высоте слоя жидкого чугуна в 1,41 м) энергия Гиббса для процесса, описываемого реакцией (3) в таблице 1, становится равной нулю, что свидетельствует о невозможности образования нитрида магния при этих условиях. Что касается реакций 2 и 1 (таблица 1), то влияние на них давления не столь значительно, а энергия Гиббса сохраняет

отрицательные значения практически во всём диапазоне исследуемых давлений (от 0 до 3 м).

Таким образом, результаты термодинамического анализа свидетельствуют о том, что процессы десульфурации и раскисления чугуна при обработке с магнием протекают во всём диапазоне исследуемых давлений, а процессы образования нитрида магния возможны при избыточном давлении в системе $\geq 0,928$ атм. (то есть в объёме жидкого чугуна с высотой слоя не менее 1,41 м). Степень удаления газов из чугуна при десульфурации его магнием определяется условиями осуществления процесса десульфурации, а также характеристиками и параметрами технологии (состав газа-носителя, исходное содержание газов в чугуне и т.п.)

Для выявления этих закономерностей было проведено экспериментальное исследование в промышленных условиях поведения кислорода, азота и водорода в чугуне в процессе десульфурации его гранулированным магнием, инжектируемым в расплав в струе различных газов (воздух, азот, природный газ, аргон) в ковшах различной емкости.

Опытные обработки чугуна магнием, вводимым в струе воздуха, с целью изучения поведения кислорода при десульфурации чугуна осуществляли в 140-тонных ковшах с использованием фурмы погружения с испарителем (колоколом) на выходе. Результаты этих обработок представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты исследования поведения кислорода в чугуне при десульфурации чугуна магнием, вводимым в струе воздуха (140 т ковш)

№ усл	qMg_{sp} кг/т чугу.	Содержание серы, %		$\Delta S, \%$ абс.	$\Delta S, \%$ отн.	$Mg_{осм.} \%$	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
$\bar{\Sigma}$	0,54	0,026	0,011	0,016	58,9	0,0143	0,007	0,003	0,0038	56,7

При обработке чугуна магнием параллельно с процессом десульфурации чугуна протекает процесс его раскисления.

При исследовании поведения азота в чугуне в процессе десульфурации чугуна магнием с использованием в качестве газ-носителя различных газов (воздух, азот, природный газ) были проведены промышленные обработки чугуна в 140-тонных ковшах, результаты которых приведены в табл. 3.

При вводе магния в чугун в струе азота (обр. 1–3, табл. 3) 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 обработки.

Таблица 3. Изменение содержания азота и серы в чугуне при десульфурации чугуна гранулированным магнием, вводимым в струе различных газов-носителей (140-т ковш фурма с испарительной камерой)

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

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 %).

Исключение азота из состава транспортирующего газа путем замены его на природный газ оказало благоприятное влияние на содержание азота в чугуне. Степень попутной деазотации чугуна при этом составила 11–30

% при начальном содержании азота в чугуна 0,007–0,010 % и степени десульфурации чугуна 36,8–74 %.

Промышленные обработки, данные о которых приведены в табл. 4, были проведены с использованием фурм без испарительной камеры. Для исследования содержания газов были выбраны обработки с близким (0,003–0,004 %) содержанием серы в чугуна после десульфурации.

При использовании в качестве транспортирующего газа – азота (обр. 1) содержание азота в чугуна в процессе десульфурации осталось неизменным (0,0051 % перед обработкой и 0,0050 % после обработки). Содержание водорода при этом уменьшилось от 0,00045 % до 0,00022 %, т.е. на 51 %.

Использование в качестве транспортирующего газа аргона (обр. 2, 3) позволило снизить в процессе обработки чугуна содержание серы на 85–90%, азота – на 24–34%, а водорода – на 50–70%.

Таблица 4. Данные о параметрах и результатах промышленных обработок чугуна инжестированием диспергированного магния через фурму погружения, вводимого в струе различных газов-носителей (120 т ковш, фурма без испарительной камеры)

№ обр.	Транс. газ	Расход магния, кг/т		Содержание серы, %		ΔS , % отн	β , кг/кг	K^{Mg+S}_M , %	Содержание азота, р.р.м		ΔN , % отн	Содержание водорода, р.р.м		ΔH , % отн
		гран.	мет.	исх.	кон.				исх.	кон.		исх.	кон.	
1	Азот	0,402	0,370	0,015	0,004	73,3	3,36	89,14	51	50	2,0	4,5	2,2	51,1
2	Аргон	0,711	0,654	0,028	0,004	85,7	2,63	83,84	55	36	34,5	7,5	3,8	49,3
3	Аргон	0,739	0,680	0,030	0,003	90,0	2,5	91,74	38	29	23,7	10	3,1	69,0

Из вышеизложенного следует, что процесс десульфурации чугуна инжестированием диспергированного магния в расплав в струе газ-носителя позволяет, при сочетании определенных параметров технологии и конструкции оборудования, обеспечить одновременное удаление из чугуна, серы, кислорода, водорода и азота. Степень удаления тех или иных примесей в зависимости от требований потребителя технологии определяется подбором параметров оборудования и технологии.

Выводы.

1. Расчетным путем установлено, что при вводе диспергированного магния в чугуна в струе аргона через фурму с диаметром сопел 7 мм на глубину 3 м образуются пузыри аргона с диаметром 25 мм. Содержание азота и водорода в пузыре аргона в конце всплывания достигает величины $1,8 \cdot 10^{-6}$ % и $1,2 \cdot 10^{-8}$ % соответственно.

2. Расчетным путем установлено, что при вводе частицы магния диаметром 1,6 мм в чугуна на глубину 3 м после её испарения образуется пузырь парообразного магния диаметром 23 мм. Содержание парообразного

магния в пузыре при всплывании уменьшается в 1,5 раза.

3. В результате термодинамического анализа реакций взаимодействия магния с серой, кислородом и азотом при инжектировании магния установлено, что процессы десульфурации и раскисления чугуна протекают во всем диапазоне исследуемых давлений, а процесс образования нитрида магния возможен только при избыточном давлении в системе «газ – металл» более 0,928 атм (т.е. на глубине расплава чугуна более 1,4 м).

4. Экспериментальным путем установлено, что решающее влияние на попутную дегазацию чугуна при его десульфурации инжектированием гранулированного магния оказывает тип транспортирующего газа. Если содержание кислорода в чугуне во всех случаях (воздух, азот, аргон, природный газ) после десульфурации снижается на 60–80 %, то содержание азота в чугуне при использовании в качестве транспортирующего газа азота повышается на 12–14 %, при использовании воздуха – не изменяется, а при использовании природного газа или аргона, снижается на 10–22 %.

5. При использовании в качестве транспортирующего газа азота или аргона содержание водорода в чугуне снижается на 50-70%.

Библиографический список

1. *Морозов А.Н.* Водород и азот в стали. М.: Металлургия, 1968. – 280 с.
2. *Михневич Ю.Ф., Третьяков Е.В., Явойский В.И.* Азот в кислородно-конвертерной стали // *Сталь*. – 1971. – № 1. – С. 18–20.
3. *Технология* производства стали в современных конвертерных цехах. / *Колпаков С.В., Старов Р.В., Смоктий В.В.* и др. – М.: Машиностроение. 1991. – 464 с.
4. *Бигеев В.А., Николаев А.О., Брусникова А.В.* Особенности производства низкосернистой стали с ограниченным содержанием водорода. *Сталь*. – № 4. – 2014. – С. 18–20.
5. *Шевченко А.Ф., Большаков В.И., Башмаков А.М.* Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах: Монография. – Киев: «Наукова думка», 2011. – 220 с.
6. *Воронова Н.А.* Десульфурация чугуна магнием. М.: Металлургия. 1980. – 238 с.
7. *Физико-химическое моделирование теплофизических свойств жидкого чугуна* / *Д.Н. Тогобицкая, В.Ф. Мороз, А.Ю. Гринько* // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр.* – Дніпропетровськ.: ІСМ НАН України, 2005. – Вип. 11. – С. 180-184.
8. *Кубашевский О., Олкок С.Б.* Металлургическая термохимия. - М.: Металлургия, 1982. - 392 с.

Reference

1. *Morozov A.N.* Vodorod i azot v stali. M.: Metallurgiya, 1968. – 280 s.
2. *Mikhnevich YU.F., Tret'yakov Ye.V., Yavovskiy V.I.* Azot v kislorodno-konverternoy stali // *Stal'*. – 1971. – № 1. – S. 18–20.
3. *Tekhnologiya proizvodstva stali v sovremennykh konverternykh tsekhakh.* / Kolpakov S.V., Starov R.V., Smoktiy V.V. i dr. – M.: Mashinostroyeniye. 1991. – 464 s.
4. *Bigeyev V.A., Nikolayev A.O., Brusnikova A.V.* Osobennosti proizvodstva nizkoseernistoy stali s ogranichenym soderzhaniyem vodoroda. *Stal'*. – № 4. – 2014. – S. 18–20.
5. *Shevchenko A.F., Bol'shakov V.I., Bashmakov A.M.* Tekhnologiya i oborudovaniye desulfuratsii chuguna magniyem v bol'shegruznykh kovshakh: Monografiya. – Kiyev: «Naukova dumka», 2011. – 220 s.
6. *Voronova N.A.* Desulfuratsiya chuguna magniyem. M.: Metallurgiya. 1980. – 238 s.
7. *Fiziko-khimicheskoye modelirovaniye teplofizicheskikh svoystv zhidkogo chuguna / D.N. Togobitskaya, V.F. Moroz, A.YU. Grin'ko // Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii: Sb. nauchn. tr. – Dnipropetrovs'k.: ICHM NAN Ukraїni, 2005. – Vip. 11. – S. 180-184.*
8. *Kubashevskiy O., Olkock S.B.* Metallurgicheskaya termokhimiya. - M.: Metallurgiya, 1982. - 392 s.

O. S. Vergun, A. P. Shevchenko, V. G. Kislyakov, L. S. Molchanov, B. V. Dvoskin **Комплексна десульфурация і дегазация чавуну магнієм**

Метою роботи є теоретичне та експериментальне дослідження поведінки кисню, водню і азоту в чавуні в процесі десульфуратії його гранульованим магнієм. Виконано розрахунково-аналітична оцінка процесів формування і спливання газових бульбашок при введенні диспергированного магнію в металевий розплав в струмені аргону. Розрахунковим шляхом встановлено, що при введенні диспергированного магнію в чавун в струмені аргону через фурму з діаметром сопел 7 мм на глибину 3 м утворюються бульбашки аргону з діаметром 25 мм. Встановлено термодинамічна ймовірність протікання процесів взаємодії магнію з киснем, азотом і воднем при десульфуратії чавуну. Встановлено, що процеси десульфуратії і розкислення чавуну протікають у всьому діапазоні досліджуваних тисків, а процес утворення нітриду магнію можливий тільки при надмірному тиску в системі «газ - метал» на глибині розплаву чавуну понад 1,4 метра. Експериментами в промислових умовах виявлено особливості видалення кисню, азоту та водню з чавуну при десульфуратії розплаву дисперговані магнієм в струмені різних газів-носіїв. Експериментальним шляхом встановлено, що вирішальний вплив на попутну дегазацию чавуну при його десульфуратії інжектування гранульованого магнію надає тип транспортує газу. При використанні в якості транспортує газу азоту або аргону вміст водню в чавуні знижується на 50-70%.

Ключевие слова: чавун, десульфурация, магній, вміст газів в розплаві, що транспортує газ

A. S. Vergun, A. F. Shevchenko, V. G. Kislyakov, L. S. Molchanov, B. V. Dvoskin

*«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»,
Сборник научных трудов ИЧМ. – 2018. - Вып.32*

Complex desulfurization and degassing of hot metal with magnesium

The aim of the work is a theoretical and experimental study of the behavior of oxygen, hydrogen and nitrogen in iron during desulfurization with its granulated magnesium. A computational and analytical assessment of the formation and floating of gas bubbles during the introduction of dispersed magnesium into a metal melt in an argon jet is performed. It has been established by calculation that when dispersed magnesium is introduced into the cast iron in an argon jet, through a lance with a nozzle diameter of 7 mm to a depth of 3 m, argon bubbles with a diameter of 25 mm are formed. The thermodynamic probability of the processes of interaction of magnesium with oxygen, nitrogen and hydrogen during desulfurization of cast iron has been established. It has been established that the processes of desulfurization and deoxidation of iron occur throughout the entire range of pressures under study, and the formation of magnesium nitride is possible only with an excess pressure in the gas-metal system at a depth of molten iron more than 1.4 meters. Experiments in industrial conditions revealed the features of the removal of oxygen, nitrogen and hydrogen from cast iron during desulfurization of the melt with dispersed magnesium in a stream of various carrier gases. It was established experimentally that the type of carrier gas has a decisive influence on the by-pass degassing of the iron during its desulfurization by injecting granular magnesium. When using nitrogen or argon as a carrier gas, the hydrogen content in cast iron is reduced by 50-70%.

Keywords: cast iron, desulfurization, magnesium, gas content in the melt, transporting gas

*Статья поступила в редакцию сборника 09.10.2018 года, прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания редакционной коллегии сборника №1 от 26 декабря 2018 года)
Рецензенты: д.т.н., проф. Б.М.Бойченко; к.т.н. В.П.Пуптюк*