

18. Цепелев В. С., Баум Б. А., Тягунов Г. В. Некоторые особенности политерм вязкости промышленных расплавов: аномалии, гистерезис, критические температуры // Расплавы. – 1998. – № 5. – С. 13-19.
19. Ивахненко И. С., Кашин В. И. Современные представления о структуре металлических расплавов и о роли жидкого состояния в формировании первичной структуры литого металла // Сталь. – 1981. – № 9. – С. 27-29.

Поступила 02.07.2010

УДК 536.7:669.162.275

**Ю. А. Агеев, В. И. Шкуркин, С. В. Булдыгин\*, В. Н. Власов\***

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургии», Челябинск

\*ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», Челябинск

### **РАСТВОРИМОСТЬ МАГНИЯ И ТЕРМОДИНАМИКА РЕАКЦИЙ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕСНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЧУГУНА**

*Дана оценка растворимости магния в промышленных чугунах. Определены параметры взаимодействия кислорода и азота с магнием. Выполнен термодинамический анализ реакций взаимодействия магния с примесными элементами чугуна – азотом и кислородом.*

**Ключевые слова:** магний, чугун, кислород, азот.

*Дано оцінку розчинності магнію в промислових чавунах. Визначені параметри взаємодії кисню та азоту з магнієм. Виконано термодинамічний аналіз реакції взаємодії магнію з елементами домішки чавуну – азотом та киснем.*

**Ключові слова:** магній, чавун, кисень, азот.

*Solubility of magnesium in industrial cast iron was estimated. Interaction parameters of oxygen and nitrogen with magnesium were determined and the thermodynamical analysis of magnesium interaction reactions with impurity elements of cast iron was made.*

**Keywords:** magnesium, iron, oxygen, nitrogen.

Для теории и практики литейного производства большое значение имеет информация о растворимости магния в промышленных чугунах и равновесных характеристиках его взаимодействия с примесными элементами чугуна: кислородом, азотом, серой, фосфором и углеродом.

В настоящей работе рассчитана растворимость жидкого магния в чугунах и определено ее значение при давлении пара магния, равном одной атмосфере. Значения растворимости при атмосферном давлении пара магния позволяют судить о максимально возможных его концентрациях, которые могут быть достигнуты в промышленных условиях при обработке чугуна магнием или магниесодержащими модификаторами и лигатурами. По данным о растворимости жидкого магния, которая является предельной ( $x_{[Mg]}^{пред}$ ) можно оценить его коэффициент активности ( $\gamma$ ), так как в этом случае активность магния равна единице и  $\gamma_{Mg} = 1/x_{[Mg]}^{пред}$ .

## Получение и обработка расплавов

При более низких концентрациях магния, чем  $x_{[Mg]_{пред}}$ , его активность ( $a_{Mg}$ ) можно оценить по формуле теории регулярных растворов

$$RT \ln a_l = RT \ln x_l + \sum_{i=1}^{l-1} x_i Q_{il} + \sum_{i=l+1}^k x_i Q_{li} - \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k x_i x_j Q_{ij}, \quad (1)$$

где  $Q$  – энергия взаимообмена элементов;  $T$  – температура, К;  $x$  – мольная доля элемента в расплаве.

Данные об активности магния могут быть использованы при изучении равновесий химических реакций, протекающих с его участием, для расчета давления его пара и других целей.

Если чугун находится в равновесии с чистым жидким магнием, то  $a_{Mg}$  и уравнение (1) примут следующий вид:

$$RT \ln x_{Mg, пред} = - \sum_{i=1}^{l-1} x_i Q_{il} - \sum_{i=l+1}^k x_i Q_{li} + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k x_i x_j Q_{ij}. \quad (2)$$

Энергии взаимообмена, использованные при оценке предельной растворимости магния, представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Энергии взаимообмена элементов**

Элемент		$Q_{i,j}$ , Дж/моль	Элемент		$Q_{i,j}$ , Дж/моль
$i$	$j$		$i$	$j$	
Fe	C	-97906	Si	Mn	-209200
	Si	-167360		Cr	-271960
	Mn	0		Cu	-31380
	Cr	0		Ni	23,012Т-188280
	Cu	30000		Mg	103,571Т-288724
	Ni	0		Mn	Cr
	Mg	61500	Cu		-8368
C	Si	-41840	Mn	Ni	0
	Mn	-129704		Mg	41256
	Cr	-175728		Cr	Cu
	Cu	58600	Ni		0
	Ni	-50208	Mg		89530
	Ni	Mg	226,508Т-465443	Cu	Ni
		7,867Т-39620	Mg		29,73Т-64700

Значение параметра  $Q_{Fe-Mg}$  рассчитывали, используя данные о предельной растворимости магния в жидком железе при температуре 1600 °С, полученные авторами работы [1]. Энергия  $Q_{Mg-C}$  зависит от температуры. Для ее определения использовали результаты экспериментальных исследований системы Fe-C-Mg, полученные в работах [1, 2]. Параметр  $Q_{Mg-Si}$  рассчитывали по данным работ [1, 3] о растворимости магния в сплавах железо-кремний и железо-кремний-углерод. Остальные энергии

## Получение и обработка расплавов

взаимообмена, необходимые для расчетов, оценивали по литературным данным о коэффициентах активности элементов, о параметрах взаимодействия первого порядка, о парциальных молярных теплотах и значениях избыточной энтропии образования металлических сплавов. В расчетах также использовали энергии взаимодействия, полученные ранее В. А. Кожеуровым и Б. П. Бурылевым [6].

Равновесную концентрацию магния при давлении его пара, равном одной атмосфере, рассчитывали по формуле (1), а активность магния определяли из соотношения  $a_{Mg} P_{Mg}^0 = 1$ . Давление (атм) пара чистого жидкого магния ( $P_{Mg}^0$ ) рассчиты-

вали по уравнению

$$\lg P_{Mg}^0 = - \frac{6920}{T} + 5,032, \quad (3)$$

полученному статистической обработкой литературных данных.

Расчеты растворимости магния выполнены для высокопрочных чугунов марок ВЧ 35...ВЧ 100, рекомендованных для производства отливок с толщиной стенки <50 мм, химический состав которых заимствован из справочника [5]. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Растворимость магния в чугунах марок ВЧ 35...ВЧ 50 практически одинаковая, поэтому в таблице они объединены в одну группу. Предельная растворимость магния слабо меняется с изменением температуры. Коэффициент активности магния находится в обратно пропорциональной зависимости от величины его предельной растворимости, поэтому он также мало изменяется, несколько увеличиваясь с ростом температуры. Для практических расчетов при оценке активности магния в

жидких чугунах можно использовать выражение  $a_{Mg} = \frac{x_{[Mg]}}{x_{[Mg]_{пред}}} \cong \frac{[Mg, \%мас]}{[Mg, \%мас]_{пред}}$ .

**Таблица 2. Растворимость магния в высокопрочных чугунах**

Марка чугуна	T, °C	Концентрация магния в чугунах, %мас.	
		предельная	при давлении пара магния, равном одной атмосфере
ВЧ 35... ВЧ 50	1200	2,101	0,8186
	1300	1,928	0,3586
	1400	1,792	0,1793
	1500	1,682	0,0982
	1600	1,592	0,0589
ВЧ 60	1200	2,177	0,8399
	1300	2,002	0,3702
	1400	1,865	0,1855
	1500	1,754	0,1022
	1600	1,663	0,0607
ВЧ 80	1200	2,300	0,8752
	1300	2,102	0,3801
	1400	1,948	0,1921
	1500	1,824	0,1056
	1600	1,723	0,0625
ВЧ 100	1200	2,579	0,9563
	1300	2,307	0,4106
	1400	2,101	0,2001
	1500	1,940	0,1111
	1600	1,811	0,0651

Использование в расчетах концентраций, выраженных в массовых процентах, приводит к более высоким значениям активности, чем это получается, если концентрацию магния выразить в мольных долях. Однако погрешность в расчетах активности при этом не превысит 2,5 % и будет тем меньше, чем концентрация магния в чугуне ближе к его предельной растворимости.

Взаимодействие магния с примесными элементами чугуна изучено недостаточно. Изменения изобарно-изотермического потенциала реакций образования карбидов магния из элементов [6] положительны в интервале температур 298-3000 К, что свидетельствует о неустойчивости карбидов магния в твердом и жидком чугунах. Насколько нам известно, какие-либо сведения о взаимодействии магния с растворенными в чугуне фосфором и азотом в открытой печати отсутствуют. Условия образования сульфидов магния в чугуне впервые экспериментально изучены М. С. Спиром и Н. А. Парли [2], которые установили, что при 1533 К зависимость концентрации серы от содержания магния в чугуне имеет минимум:  $[S] = 0,0005\%$  при  $[Mg] = 0,06\%$ . С использованием экспериментально установленного параметра  $e_S^{Mg} = -1,82$  авторы теоретически рассчитали равновесное с магнием содержание серы в насыщенном углеродом железе. По их данным  $[Mg, \%] \cdot [S, \%] = 0,2 \cdot 10^{-4}$ . Корш с сотрудниками приводят теоретическое значение  $[Mg, \%] \cdot [S, \%]$  для температур 1603 и 1743 К соответственно  $0,8 \cdot 10^{-4}$  и  $2,0 \cdot 10^{-4}$ . Н. А. Воронова [7] установила линейную зависимость произведения растворимости  $[Mg, \%] \cdot [S, \%]$  от температуры жидкого чугуна и показала, что теоретически рассчитанные зависимости удовлетворительно согласуются с данными о десульфурации чугуна в промышленных условиях, полученными путем анализа.

И. С. Куликов [8] с использованием полученного им значения  $e_O^{Mg} = -160$  впервые теоретически определил величину произведения растворимости  $[Mg, \%] \cdot [O, \%]$  в чистом железе при 1873 К и показал, что при концентрации магния 0,0052 % достигается минимальная концентрация кислорода в жидком железе. Следует отметить, что И. С. Куликов в своих расчетах использовал заниженные значения растворимости магния в жидком железе, поэтому результаты его расчетов требуют существенной корректировки. Все вышеперечисленные результаты исследований раскислительной и десульфуризирующей способности магния подробно проанализированы в монографии С. Н. Лекаха и Н. И. Бестужева [9].

В настоящей работе исследовали взаимодействие магния с растворенными в чугуне азотом и кислородом. Экспериментальное изучение равновесия реакций взаимодействия растворенного в чугуне магния с примесными элементами чугуна осложняется высокой упругостью пара и химической активностью магния. Для расчета равновесных концентраций кислорода и азота в чугунах необходимы данные о значениях параметров взаимодействия  $e_O^{Mg}$  и  $e_N^{Mg}$ , сведения о которых требуют уточнения или вообще отсутствуют.

При определении параметров взаимодействия принимали, что полученное Б. П. Бурылевым [10] выражение для параметров взаимодействия  $\epsilon_i^j = \frac{Q_{i-j} - Q_{Fe-j} - Q_{Fe-i}}{RT}$

является справедливым также и для растворов кислорода и азота в железе. Принимали, что  $\gamma_{[O,N]} = AP^k_{(O_2,N_2)}$ , где  $A$  и  $k$  – константы. Энергия взаимообмена  $Q_{(O,N,Fe,j)} = RT \ln \gamma_{(O,N)} = RT (\ln A + k \ln P_{(O_2,N_2)})$ , где  $P_{O_2}$ ,  $P_{N_2}$  – равновесные давления кислорода и азота в системах жидкий металл-твердые оксид или нитрид соответствующего металла.

Поскольку  $RT \ln P_{O_2} = -\frac{2}{n} \Delta G_{jmO_n}^0$ , то после подстановки значения  $Q$  в выражение

## Получение и обработка расплавов

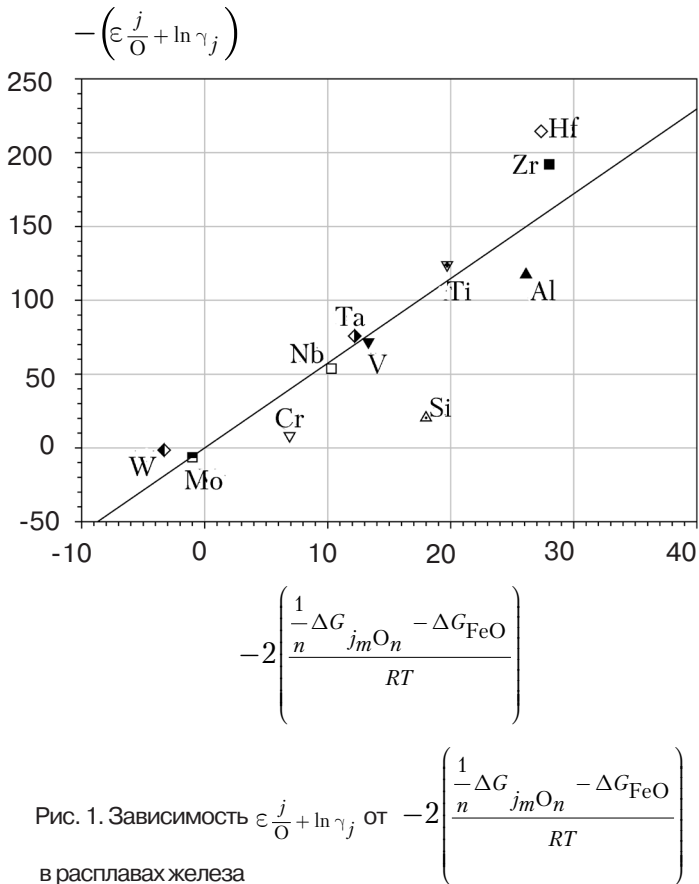
для параметров взаимодействия получим в общей форме для растворов кислорода

$$\varepsilon_O^j = -\frac{2k\left(\frac{1}{n}\Delta G_{J_mO_n}^0 - \Delta G_{FeO}^0\right)}{RT} - \ln \gamma_j, \quad (4)$$

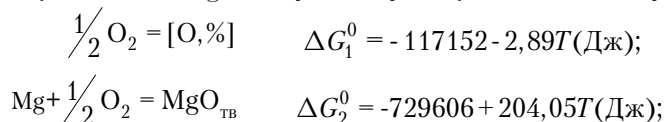
где  $\Delta G^0$  – значение изобарно-изотермического потенциала образования оксида по реакции  $mJ + \frac{n}{2}O_2 = J_mO_n$ .

Аналогичное выражение легко получить и для растворов азота в жидком железе.

Для определения значений  $\varepsilon_O^{Mg, \text{ЩЗМ}}$  строили зависимости  $\varepsilon_O^j + \ln \gamma_j$  от  $\frac{2}{RT}\left(\frac{1}{n}\Delta G_{j_mO_n}^0 - \Delta G_{FeO}^0\right)$ . Полученные для устойчивых оксидов результаты представлены на рис. 1.



Используя полученную зависимость по известным значениям  $\Delta G^0$  образования оксидов магния и ЩЗМ и их коэффициентов активности [11], рассчитали параметры взаимодействия при 1873 К:  $\varepsilon_O^{Mg} = -177$ ,  $\varepsilon_O^{Ba} = -173$ ,  $\varepsilon_O^{Sr} = -179$ ,  $\varepsilon_O^{Ca} = -222$ . Концентрации кислорода в жидком железе, равновесные с растворенными магнием и ЩЗМ, рассчитали из выражений для констант равновесия и  $\Delta G^0$  реакций образования оксидов. Так  $\Delta G^0$  образования MgO получили суммированием следующих реакций:



$$Mg_{ж} = Mg_{г} \quad \Delta G_3^0 = -132495 - 96,57T(\text{Дж});$$

$$Mg_{ж} + [O] = MgO_{тв} \quad \Delta G_4^0 = \Delta G_2^0 + \Delta G_3^0 - \Delta G_2^0.$$

После суммирования получили  $\Delta G_4^0 = -492511 + 110,58T(\text{Дж})$ .

Из выражения для константы равновесия  $k_{\rho 4} = \frac{1}{a_{[Mg]} \cdot a_{[O]}}$  с учетом того, что

$$\Delta G^0 = -RT \ln k_p \text{ получили } \lg(a_{[Mg]} \cdot [O, \% \text{мас.}] \cdot f_{[O]}) = -\frac{25730}{T} + 5,78; \text{ откуда}$$

$$\lg(O, \% \text{мас.}) = -\frac{25730}{T} + 5,78 - \lg a_{[Mg]} - \lg f_{[O]}.$$

Коэффициент активности магния рассчитали по уравнению  $a_{Mg} = \frac{[Mg, \% \text{мас.}]}{[Mg, \% \text{мас.}]_{\text{пред}}}$ .

Влияние кислорода на активность магния из-за низкой концентрации кислорода в расчетах не учитывали. Коэффициент активности кислорода оценивали из уравнения  $\lg f_{[O]} = e_O^O [O, \% \text{мас.}] + e_O^{Mg} [Mg, \% \text{мас.}]$ . Аналогичным образом рассчитали растворимость кислорода в двойных сплавах железа с кальцием, стронцием и барием. Минимальные концентрации кислорода, которые могут быть достигнуты при обработке железа ЩЗМ и магнием, приведены ниже:

Раскислитель	Концентрация, %мас.	
	[Mg]	[O] <sub>min</sub>
Mg	0,25	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Ca	0,056	$2,1 \cdot 10^{-9}$
Ba	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$
Sr	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$

Минимальные концентрации кислорода в железе, раскисленном ЩЗМ, достигаются при концентрациях, равных их предельной растворимости. Зависимость  $\lg [O, \% \text{мас.}] - \lg [Mg, \% \text{мас.}]$ , как видно из рис. 2, характеризуется четким минимумом.

В связи с тем, что не представляется возможным определить температурную зависимость параметра  $\epsilon_O^{Mg}$  и она отсут-

ствует для параметров взаимодействия кислорода с основными элементами чугуна, для оценки растворимости кислорода в высокопрочных чугунах использовали их значения при температуре 1600 °С. Расчеты растворимости кислорода выполнили для температуры 1450 °С. Концентрация кислорода в ВЧ, обработанных магнием (рис. 3), достигает минимального значения при концентрации магния 0,25 %мас. как и в жидком железе. Ниже приведены минимальные концентрации кислорода в ВЧ различных марок:

Марка чугуна	[O]min, %мас.
ВЧ 35	$8,7 \cdot 10^{-8}$
ВЧ 60	$9,7 \cdot 10^{-8}$
ВЧ 80	$1,01 \cdot 10^{-7}$
ВЧ 100	$1,3 \cdot 10^{-7}$

Неизвестные параметры взаимодействия азота с магнием и кальцием получили, используя зависимость (рис. 4)  $\epsilon_N^j + \ln \gamma_j$  от  $\frac{2}{RT} \left( \frac{1}{n} \Delta G_{jMn}^0 - \Delta G_{Fe_4N}^0 \right)$ .

Оказалось, что при температуре 1600 °С  $\epsilon_N^{Mg} = -13,97$ , а  $\epsilon_N^{Ca} = -3,82$ .

Используя зависимость энтальпийного параметра от температуры [12], определили температурную зависимость параметров взаимодействия азота с элементами чугуна и рассчитали произведение растворимости  $[Mg, \% \text{мас.}] \cdot [N, \% \text{мас.}]$  при концентрациях магния, характерных для чугунов с шаровидным и вермикулярным графитом.

Оказалось (рис. 5), что  $\lg([Mg, \% \text{мас.}] \cdot [N, \% \text{мас.}])$  находится в прямопропорциональной зависимости от обратной температуры, уменьшаясь с понижением температуры чугуна.

Л. И. Леви [13] высказал предположение, что нитриды кремния и алюминия могут быть центрами кристаллизации графита в чугунах. Поэтому вопрос о термодинамической устойчивости нитридов в чугуне представляет как теоретический, так и практический интерес. Выполненные для высокопрочного чугуна марки ВЧ 60 расчеты, результаты которых представлены на рис. 6, не подтверждают предположение Л. И. Леви, по крайней мере в отношении нитрида кремния. Действительно нитрид кремния не устойчив в жидком чугуне, так как равновесная с ним концентрация азота выше его растворимости в чугуне.

Концентрация алюминия в магниевых модификаторах, являющихся основным источником поступления алюминия в чугун, обычно составляет 1 %мас., поэтому при расчете равновесной концентрации азота принимали, что концентрация алюминия в чугуне составляет 0,01 %мас. Расчеты показывают, что нитриды магния (при концентрации магния 0,045 %мас.) и алюминия становятся устойчивыми при температуре 1230 °С, если концентрация азота не выше его растворимости в жидком чугуне. Если концентрация азота в исходном чугуне выше его растворимости, то образование нитридов возможно и при более высоких температурах.

Содержание азота в чугунах обычно составляет 0,005-0,013 %мас. Концентрация азота, равновесная с нитридом магния, согласно расчетам, при температуре затвердевания чугуна составляет 0,002 %мас. Если концентрация азота в чугуне близка к верхнему пределу его обычного содержания, то подавляющая его доля (0,01 %мас.) свяжется с магнием, на что будет израсходовано 0,026 %мас. Mg. Таким образом, существенная доля заданного магния при сравнительно высоких содержаниях азота в чугуне, согласно расчетам, будет связана в нитриде, что может

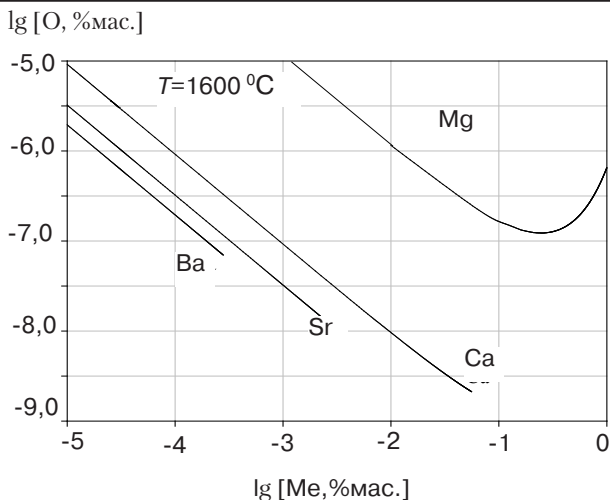


Рис. 2. Зависимость  $\lg [O, \% \text{мас.}]$  от  $\lg [Mg, \text{ЦЗМ}, \% \text{мас.}]$  в жидком железе

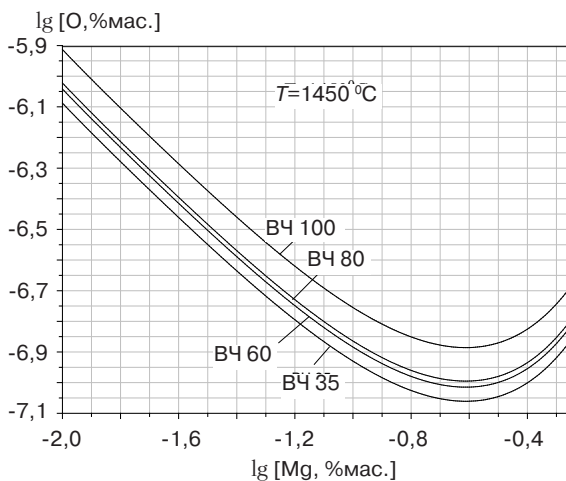


Рис. 3. Зависимость логарифма растворимости кислорода от логарифма концентрации магния в высокопрочных чугунах

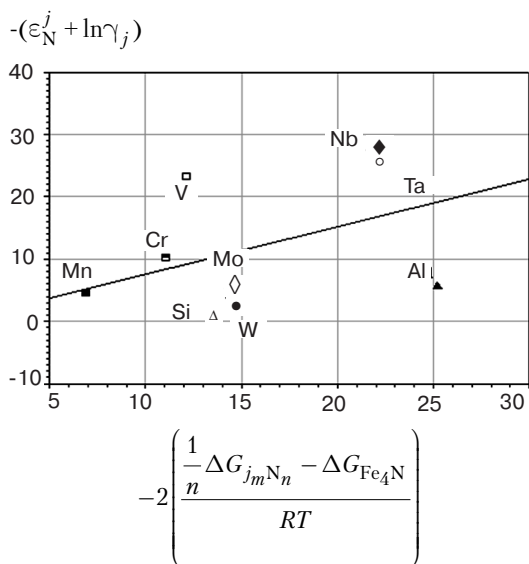


Рис.4. Зависимость  $\epsilon_N^j + \ln \gamma_j$

от  $-2 \left( \frac{\frac{1}{n} \Delta G_{jmNn} - \Delta G_{Fe_4N}}{RT} \right)$  в расплавах железа

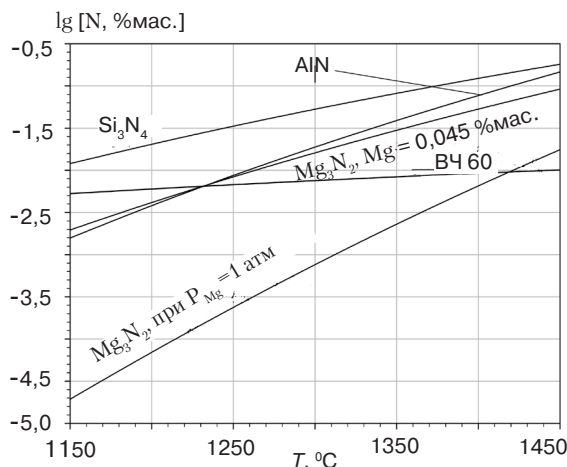


Рис. 6. Зависимость логарифма растворимости азота в чугуна марки ВЧ 60 и при равновесии с нитридами алюминия, кремния и магния от температуры

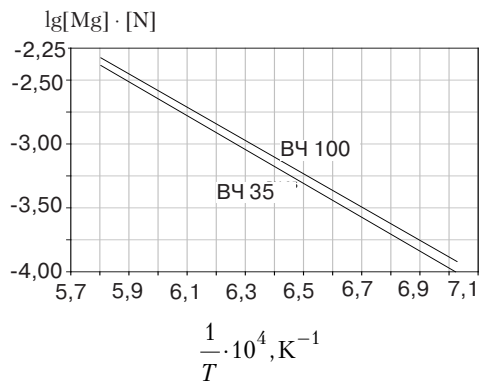


Рис. 5. Зависимость  $\lg ([Mg, \% \text{мас.}] \times [N, \% \text{мас.}])$  в высокопрочных чугунах от обратной температуры

стать причиной получения серого или вермикулярного чугуна (вместо чугуна с шаровидным графитом). Если нитриды магния являются центрами кристаллизации графита, то при содержании азота в чугуне ниже его равновесной концентрации с нитридом магния, последний не образуется и в чугуне не возникает достаточного количества центров кристаллизации графита. Содержание азота в высокопрочных чугунах, по-видимому, должно контролироваться и поддерживаться на некотором оптимальном уровне.



### Список литературы

1. Агеев Ю. А., Арчугов С. А. О растворимости магния в жидком железе и некоторых двойных сплавах на его основе // Изв. АН СССР. Металлы. – 1984. – № 3. – С. 78-80.
2. Speer M. C., Parlee N. A. D. Dissolution and desulfurization reactions of magnesium vapor in liquid alloys // AFS Cast Metal J. – 1972. – № 9. – P. 122-128.
3. Guichellar P. J., Trojan P. K., McCluhan T. A new technique for vapor pressure measurement applied for the Fe-Si-Mg system // Metal. Trans. – 1971. – V. 2, № 12. – P. 3305-3313.
4. Кожеуров В. А., Бурылев Б. П. Растворимость углерода в жидком железе в присутствии марганца и кремния // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1958. – № 1. – С. 83-93.
5. Чугун: Справочник / Под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. – М.: Металлургия, 1991. – 576 с.
6. Элиот Д. Ф., Глейзер М., Рамакришна Н. И. Термохимия сталеплавильных процессов. – М.: Металлургия, 1969. – 252 с.
7. Воронова Н. А. Десульфурация чугуна магнием. – М.: Металлургия, 1980. – 137 с.
8. Куликов И. С. Раскисление железа щелочноземельными металлами // Изв. АН СССР. Металлы. – 1985. – № 6. – С. 9-15.



9. Леках С. Н., Бестужев Н. И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. – Минск: Наука і тэхніка, 1992. – 269 с.
10. Бурyleв Б. П. Влияние легирующих элементов на активность углерода в жидком железе // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1963. – № 2. – С. 5-11.
11. Агеев Ю. А., Мизин В. Г. Сорбция щелочноземельных элементов жидким железом и его сплавами // I Советско-чехословацкий симпозиум по теории металлургических процессов: Тез. докладов // Структура и физико-химические свойства металлических и шлаковых расплавов. – М., 1989. – Ч. 1. – С. 102-105.
12. Туркдоган Е. Т. Физическая химия высокотемпературных процессов. – М.: Металлургия, 1985. – 334 с.
13. Леви Л. И. Азот в чугуне для отливок. – М.: Машиностроение, 1964. – 230 с.

Поступила 12.10.2010

УДК 669.168:669.017.12/13

**И. Д. Буга, А. И. Троцан\*, Б. Ф. Белов\*, О. В. Носоченко, В. В. Ивко**

ОАО "Днепропетровский металлургический комбинат", Днепропетровск

\*Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев

## **ПРОЦЕССЫ ШЛАКООБРАЗОВАНИЯ И РАФИНИРОВАНИЯ ЖИДКОГО ПОЛУПРОДУКТА В КОНВЕРТЕРЕ И ПРИ КОВШОВОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ**

**Структуризация и оптимизация ковшовых шлаков при рафинировании спокойных сталей. Сообщение 3\***

*Новым графо-аналитическим методом построена полигональная диаграмма состояния системы  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , определены оптимальные составы ковшовых рафинировочных шлаков. Предложен механизм рафинирования и разработана ресурсосберегающая технологическая схема ковшовой обработки спокойных конвертерных сталей.*

**Ключевые слова:** структуризация, фосфаты кальция, шлак, конвертер.

*Новим графо-аналітичним методом побудована полігональна діаграма стану системи  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , визначені оптимальні склади ковшових рафінувальних шлаків. Розглянуто механізм рафінування і розроблена ресурсозберігаюча технологічна схема ковшової обробки спокійних конвертерних сталей.*

**Ключові слова:** структуризація, фосфати кальцію, шлак, конвертер.

*The polygonal diagram of the system status  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  with usable the new semigraphical method is plotted; optimum compositions of the ladle refining slags are determined. The mechanism of fining and the resources-economy flowchart of the ladle treatment for killed converter steels are offered.*

**Keywords:** structurization, phosphate calcium, slag, converter.

\*Сообщения 1, 2 опубликованы в журнале "Процессы литья" – 2010. – № 4, 5. – С. 20-27, 3-10.