

УДК 669.162.267.6:669.721

А.Ф. Шевченко, А.С. Булахтин, Л.П. Курилова.

### К ВОПРОСУ РАСХОДОВАНИЯ МАГНИЯ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЖИДКОГО ЧУГУНА

Приведен анализ основных статей расходования магния и их величины при внепечной десульфурации чугуна. Рассмотрено расходование магния на серу, азот, кислород и остаточный магний.

Анализ выполненного комплекса работ по исследованию закономерностей усвоения магния чугуном [1,2,3,4] показывает, что при рафинировании магнием часть его расходуется на взаимодействие с серой ( $q_{Mg}^{\Delta[S]}$ ), а остальное количество может взаимодействовать с кислородом ( $q_{Mg}^{\Delta[O]}$ ) и азотом ( $q_{Mg}^{\Delta[N]}$ ) чугуна. Часть магния, в виде растворенного остается в рафинированном чугуне ( $q_{Mg}^{[Mg]}$ ). Кроме этого часть магния теряется ( $q_{Mg}^{\Pi}$ ). В общем виде выражение статей расходования введенного в чугун магния ( $q_{Mg}^{\Sigma}$ ) имеет вид:

$$q_{Mg}^{\Sigma} = q_{Mg}^{\Delta[S]} + q_{Mg}^{\Delta[O]} + q_{Mg}^{\Delta[N]} + q_{Mg}^{[Mg]} + q_{Mg}^{\Pi}, \text{ кг/т чугуна} \quad (1)$$

Составляющие выражения (1) рассчитываются следующим образом. Расход магния на серу удаленную:

$$q_{Mg}^{\Delta[S]} = 0,76 \cdot \Delta[S] \cdot 10, \text{ кг/ чугуна} \quad (2)$$

где  $\Delta[S] = [S]_{\text{исходная}} - [S]_{\text{конечная}}, \%$ .

Расход магния на раскисление чугуна:

$$q_{Mg}^{\Delta[O]} = 1,52 \cdot \Delta[O] \cdot 10, \text{ кг/т чугуна} \quad (3)$$

где  $\Delta[O] = [O]_{\text{исходный}} - [O]_{\text{конечный}}, \%$ .

Расход магния на деазотацию чугуна:

$$q_{Mg}^{\Delta[N]} = 2,6 \cdot \Delta[N] \cdot 10, \text{ кг/т чугуна} \quad (4)$$

где  $\Delta[N] = [N]_{\text{исходный}} - [N]_{\text{конечный}}, \%$ .

Расход магния на насыщение и растворение в чугуне:

$$q_{Mg}^{[Mg]} = \Delta[Mg] \cdot 10, \text{ кг/т чугуна} \quad (5)$$

где  $\Delta[Mg] = [Mg]_{\text{исходный}} - [Mg]_{\text{конечный}}, \%$ .

В итоге сумма величин по выражениям (2), (3), (4) и (5) определяет количество магния, которое расходуется на различные статьи при рафинировании и которое можно оценить расчетным и экспериментальным путем. Остальная часть магния расходуется нерационально и относится к потерям. Расходы магния на потери зависят от условий рафинирования и эффективности применяемой технологии и могут изменяться в очень широких пределах – от 3–5% до 70% [1,2].

Расчетный анализ и экспериментальные данные позволяют оценить основные закономерности изменения расходов магния по различным статьям рафинирования. Расчетные величины расхода магния на серу (по выражению (2) для наиболее характерных условий десульфурации чугуна представлены в табл.1, из которой следует что стехиометрически в зависимости от  $[S]_{исх.}$ ,  $[S]_{кон.}$  и количества удаленной серы эта величина изменяется в пределах от 0,038 до 0,418 кг/т чугуна (в оговоренных выше значениях  $[S]_{исх.}$  и  $[S]_{кон.}$ ).

Таблица 1. Расчетная величина расхода магния на удаляемую из чугуна серу ( $q_{Mg}^{\Delta[S]}$ )

$[S]_{кон.}$ конечное содержание серы в чугуне, %	Расход магния на серу удаленную ( $q_{Mg}^{\Delta[S]}$ ), кг/т чугуна при исходном содержании серы, %				
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
0,015	0,038	0,114	0,190	0,266	0,342
0,010	0,076	0,152	0,228	0,304	0,380
0,005	0,114	0,190	0,266	0,342	0,418

Расход магния на раскисление чугуна зависит от  $[O]_{исх.}$  и  $[O]_{кон.}$  Для условий внепечной обработки перелитого чугуна величину исходного содержания кислорода можно принять в среднем 0,007% [1,5]. Как показали наши эксперименты (табл.2), конечное содержание кислорода в чугуне при десульфурации его магнием изменяется с изменением  $[S]_{кон.}$  Расчетное значение расхода магния на раскисление (исходя из этих условий) изменяется от 0,038 до 0,084 кг/т чугуна (табл.2). При изменении исходного содержания кислорода в чугуне, связанного с условиями выплавки или другими технологическими факторами, величина  $q_{Mg}^{\Delta[O]}$  может также изменяться. Приведенные нами значения содержания кислорода в чугуне, его изменение и расходуемое для этого количество магния относятся к средним по ряду опытных данных.

При вводе магния в чугун имеется ряд благоприятных условий для взаимодействия магния с азотом [1,2]. Однако выполненные Институтом черной металлургии исследования на промышленных обработках чугуна вдуванием магния [6] показали, что при внепечной десульфурации

передельного чугуна магнием содержание азота в чугуне изменяется незначительно, что в свою очередь позволяет пренебречь расходом магния на деазотацию чугуна ( $q_{Mg}^{\Delta[N]}$ ).

Таблица 2. Изменение содержания кислорода в рафинированном магнием чугуне ( $[O]_{кон}$ ) и расход магния на удаление кислорода из чугуна ( $q_{Mg}^{\Delta[O]}$ )

Содержание серы в чугуне после десульфурации магнием, %	0,015	0,010	0,005
Содержание кислорода в чугуне после десульфурации магнием, %	0,0045	0,0030	0,0015
Расход магния на раскисление чугуна ( $q_{Mg}^{\Delta[O]}$ )	0,038	0,061	0,084

При десульфурации чугуна магнием по мере снижения содержания серы в чугуне происходит насыщение его магнием [1,2]. Содержание магния в чугуне зависит от содержания серы и температуры расплава. В табл.3 приведены (на основании исследований [3]) расчетные значения  $[Mg]$  и соответственно  $q_{Mg}^{[Mg]}$  в зависимости от содержания серы в чугуне после десульфурации при температурах расплава 1300 и 1350<sup>0</sup>С.

Таблица 3. Изменение содержания магния остаточного ( $[Mg]$ ) в чугуне после десульфурации и расхода магния ( $q_{Mg}^{[Mg]}$ ) при различной глубине десульфурации

Температура жидкого чугуна, °С	Параметр	Значения параметров $[Mg]$ и $q_{Mg}^{[Mg]}$ при содержании серы в чугуне после десульфурации, %		
		0,015	0,010	0,005
1300	Содержание магния в чугуне после десульфурации ( $[Mg]$ ), %	0,003	0,005	0,011
	Расход магния на насыщение чугуна ( $q_{Mg}^{[Mg]}$ ), кг/т чугуна	0,030	0,050	0,110
1350	Содержание магния в чугуне после десульфурации ( $[Mg]$ ), %	0,006	0,010	0,020
	Расход магния на насыщение чугуна ( $q_{Mg}^{[Mg]}$ ), кг/т чугуна	0,060	0,100	0,200

Как следует из таблицы, более глубокая десульфурация чугуна и повышение температуры расплава существенно повышает значение [Mg] и соответственно расход магния на эти нужды. С учетом последнего обработка в заливочных ковшах сопряжена с более низкой температурой чугуна, что предопределяет более низкие значения [Mg] (при одинаковой глубине десульфурации), а соответственно более низкие расходы магния для этих целей.

На основании приведенных данных и значений [Mg] при различных величинах [S] и температуре [3] нами определены расчетные значения стехиометрически необходимых расходов магния на серу удаленную, на раскисление чугуна, на магний растворенный и суммарный расход магния ( $q_{Mg}^{\Sigma}$ ) при варьировании величин [S]<sub>исх.</sub>, [S]<sub>кон.</sub> и температуры чугуна. Результаты расчетов в графическом виде представлены на диаграммах рис.1 и 2, из которых следует, что основное количество магния (рис.1) необходимо для удаления серы – от 0,038 до 0,418 кг/т чугуна (в зависимости от исходного и конечного содержания серы), что соответствует от 27,9 до 83,4% от всего стехиометрически требуемого количества магния для расходования по всем (кроме потерь) статьям процесса рафинирования.

На раскисление чугуна требуется магния от 0,038 до 0,084 кг/т чугуна, что соответствует от 8,6 до 35,8% всего требуемого ( $q_{Mg}^{\Sigma}$ ) магния.

На обеспечение равновесного растворенного магния (значение [Mg]) в чугуне после десульфурации в указанных пределах температур чугуна (1300–1350<sup>0</sup>C) и при конечных содержаниях серы 0,005–0,015% требуется магния от 0,03 до 0,20 кг/т чугуна или 7,3–57,8% от общей потребности ( $q_{Mg}^{\Sigma}$ ), при этом верхние значения долевой части на [Mg] относятся к более высоким температурам расплава (рис.2) и исходным содержаниям серы в чугуне менее 0,03%.

Из диаграмм рис.1 и 2 следует также другой весьма важный вывод: снижение температуры обрабатываемого чугуна существенно уменьшает требуемое абсолютное и относительное количество магния для насыщения чугуна до условий равновесия в системе [S]– [Mg] после десульфурации.

Приведенные расчетные диаграммы позволяют прогнозировать стехиометрически требуемое количество магния для десульфурации чугуна и долевое его распределение между статьями рафинирования. Так, например, при снижении серы в чугуне с 0,04 до 0,010% (весьма типичная задача при десульфурации) и температуре чугуна 1350<sup>0</sup>C требуется всего (кроме на потери) магния 0,389 кг/т чугуна, из которых 58,6% расходуется на взаимодействие с серой, 15,7% – на раскисление чугуна, 25,7% – на насыщение чугуна магнием до равновесного. При более низкой температуре – 1300<sup>0</sup>C, магния потребуется меньше – 0,339 кг/т чугуна, а

распределение его будет более рациональным: 67,3% – на серу, 18% – на раскисление, 14,7% – на насыщение чугуна.

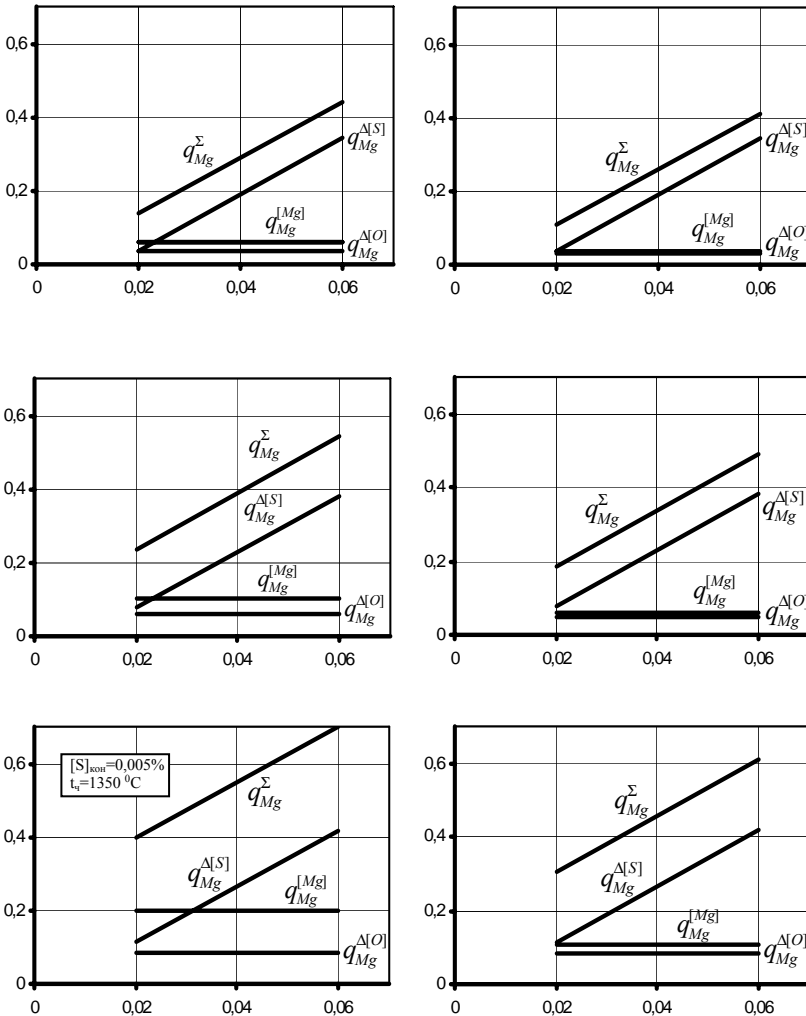


Рис.1. Зависимость стехиометрически требуемого расхода магния на взаимодействие с серой ( $q_{Mg}^{\Delta[S]}$ ), на раскисление чугуна ( $q_{Mg}^{\Delta[O]}$ ), на насыщение чугуна магнием ( $q_{Mg}^{\Delta[Mg]}$ ) и суммарного расхода ( $q_{Mg}^{\Sigma}$ ) от начального содержания серы в чугуне при изменении конечного содержания серы ( $[S]_{кон.}$ ) и температуры ( $t$ ) чугуна.

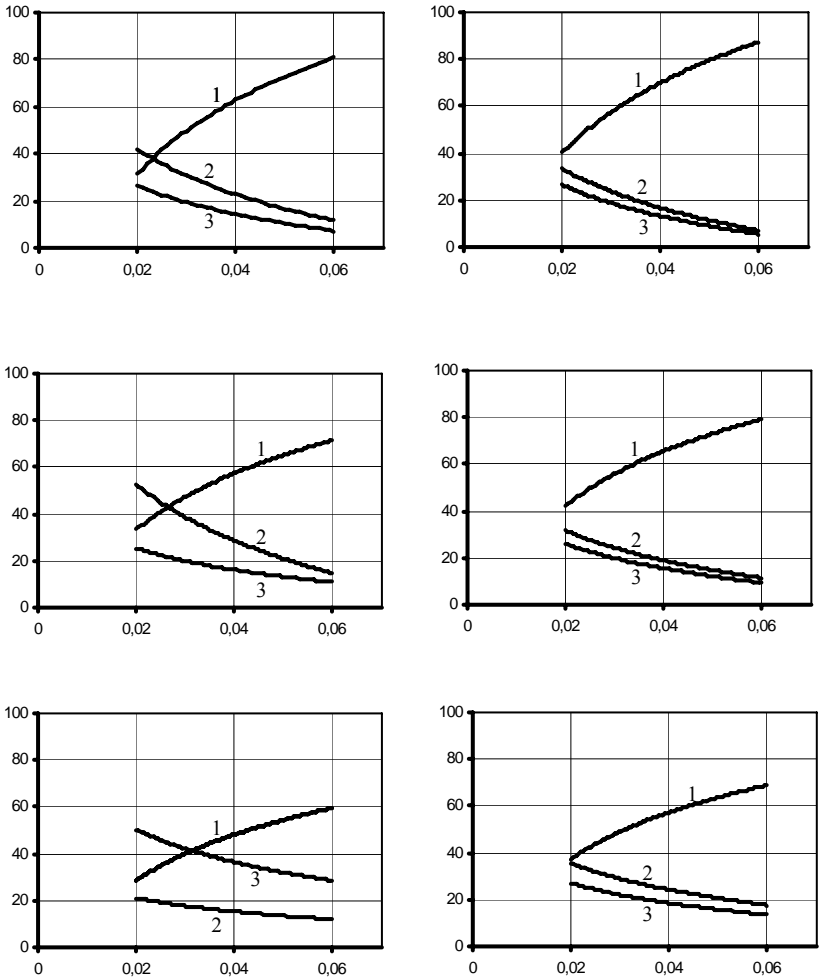


Рис.2. Долевое (в процентах) распределение расхода магния на взаимодействие с серой (1), на раскисление (2) и на насыщение(3) чугуна в зависимости от исходного содержания серы в чугуне при различных конечных её значениях и температуре.

Полученные расчетные данные и диаграммы рациональны для обширной экспериментальной проверки в части соответствия расчетных и фактических изменений по количеству удаленного кислорода, а также

уточнения фактических соотношений [S] и [Mg] в чугунах после десульфурации при варьировании конечного содержания серы в чугунах в пределах 0,002–0,020% и различных температурах рафинируемого чугуна.

Таким образом, показано, что основными статьями рационального расходования магния при ковшевой десульфурации являются его расход на взаимодействие с серой, на раскисление и насыщение чугуна магнием. Расчеты определили стехиометрически необходимые расходы магния и долевое распределение вдуваемого магния между статьями потребления. Показаны преимущества осуществления десульфурации магнием при более низких температурах чугуна.

1. *Воронова Н.А.* Десульфурация чугуна магнием. – М. Metallurgia, 1980.–239с.
2. *Шевченко А.Ф.* Разработка теории и технологии процессов внепечной десульфурации чугуна в ковшах вдуванием диспергированных реагентов / Докторская диссертация. – Днепропетровск. 1997. – 457 с.
3. *Выбор* рационального решения ковшевого рафинирования жидкого чугуна магниевыми реагентами / А.Ф. Шевченко, В.А. Александров, А.В.Зотов, и др. //Сталь. 2002. – № 6. – С.16–19.
4. *Рациональная* схема получения передельного конвертерного чугуна с пониженным содержанием азота /А.С. Вергун, А.Ф. Шевченко, А.Г.Чернятевич и др. // Сб. ИЧМ "Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии". – Киев. Наукова думка, 2002. – Вып.5. – С.99–104.
5. *Изучение* закономерностей и механизма процесса усвоения магния жидким чугуном при изменении условий равновесия в системе [Mg] – [S] – [O], физико-химических свойств реагента, а также метода и условий ввода его в жидкий железуглеродистый расплав // Отчет ИЧМ НАНУ по НИР В.004.96. – № госрегистрации 01960018475. – Днепропетровск. – 1999. – 106 с.
6. *Исследование* и разработка технологии деазотации жидкого чугуна / А.Ф. Шевченко, А.В. Зотов, В.И. Ганюшенко и др. // Труды III-го конгресса сталеплавильщиков. АО "Черметинформация", Москва, 1996. – С.227–228.

*Статья рекомендована к печати д.т.н. Д.Н.Тогобицкой*