

11. Комплексная десульфурация чугуна с использованием кальцинированной соды и магния // В.И. Мачикин, А.М. Зборщик, С.П. Кормилицын и др. // Известия вуз. Чёрная металлургия. — 1984. — № 5. — С. 26–29.

12. Агеев Ю.А., Арчугов С.А. О растворимости магния в жидком железе и некоторых двойных сплавах на его основе // Известия АН СССР. Металлы. — 1984. — № 3. — С. 78–80.

13. Nakanishi K., Ejima A., Suzuki T. On the desulfurization rate of hot metal by magnesium // Journal of Iron and Steel Institute Japan. — 1978. — v.64. — № 9. — P.1323–1332.

14. Зборщик А.М., Лифенко Н.Т. Сравнение эффективности десульфурации магнием природно-легированного и передельного чугуна // Сталь. — 1998. — № 2. — С. 10–12.

15. Sano M., Mori K. Fluid Flow and Mixing Characteristics in Gas-stirred Molten Bath // Transactions of Iron and Steel Institute Japan. — 1983. — v.23. — № 2. — P.169–175.

16. Зборщик А.М. Анализ механизма реакции при десульфурации чугуна магнием // Сталью — 1996. — № 12. — С.14–18.

© Зборщик А.М., 1999.

## ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА В ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ГАЗЛИФТНЫХ РЕАКТОРАХ

ЛИФЕНКО Н.Т. (ДОНГТУ)

*Описана математическая модель процесса десульфурации чугуна при использовании для подачи магния в металл циркуляционного газлифтного реактора. Путём сравнения результатов расчета с данными опытно-промышленного исследования показано, что предложенная модель с достаточной точностью может быть использована для оценки основных параметров технологии десульфурации чугуна в газлифтных реакторах различной конструкции.*

Работоспособность существующих установок внедоменной десульфурации чугуна во многом определяется стойкостью погружаемых в металл фурм. На установках отечественных заводов для подачи магния в металл используются фурмы с испарительными камерами, футеровка которых ведется с использованием коксо-глинистых огнеупорных смесей. В этом случае высокая стойкость фурм достигается при продолжительности разового погружения в металл не более 3–4 минут. При глубокой десульфурации и модифицировании чугуна это диктует необходимость подачи магния в металл с неоправданно высокими скоростями, что приводит к необходимости увеличения недолива поступающих на обработку ковшей и снижению эффективности обработки.

Результаты опытно-промышленных исследований показывают, что продолжительность обработки может быть увеличена до 10–15 минут и более при подаче реагентов в подъемную колонну циркуляционного газлифтного реактора [1]. Это позволяет в оптимальном режиме вводить в металл большие количества реагента. В связи с этим в настоящей работе были исследованы особенности кинетики десульфурации чугуна при использовании для ввода магния в металл циркуляционного газлифтного реактора.

Результаты большого количества исследований позволяют утверждать, что лимитирующим звеном реакции десульфурации чугуна магнием является массопе-

ренос серы из объема металла к поверхности пузырей пара десульфуратора [2, 3]. С учетом этого скорость десульфурации чугуна в подъемной колонне реактора можно описать зависимостью:

$$\frac{d[S]}{d\tau} = -\frac{F\rho\beta_s}{G_p}([S] - [S]_p), \quad (1)$$

где  $[S]$  — содержание серы в чугуне, находящемся в подъемной колонне реактора, %;  $\tau$  — продолжительность взаимодействия чугуна с десульфуратором в подъемной колонне, с;  $\beta_s$  — коэффициент массопереноса серы в чугуне, м/с;  $F$  — суммарная площадь поверхности всплывающих в чугуне пузырей пара магния, м<sup>2</sup>;  $\rho$  — плотность чугуна, кг/м<sup>3</sup>;  $G_p$  — масса чугуна в подъемной колонне реактора, кг;  $[S]_p$  — равновесное с паробразным магнием содержание серы в чугуне, %.

Если концентрация серы в объеме чугуна значительно превышает равновесные концентрации серы у поверхности пузырей пара десульфуратора, то, приняв граничные условия  $\tau=0$ ;  $[S]=[S]_k$  и  $\tau=\tau_p$ ;  $[S]=[S]_c$ , в результате решения уравнения (1) получим

$$\ln \frac{[S]_c}{[S]_k} = -\frac{F\rho\beta_s}{G_p} \tau_p, \quad (2)$$

где  $[S]_k$  — концентрация серы в металле, поступающем из ковша в подъемную колонну реактора, %;  $[S]_c$  — концентрация серы в сливаемом из реактора металле, %;  $\tau_p$  — продолжительность пребывания чугуна в реакторе, с.

В результате преобразования уравнения (2) кинетическое уравнение десульфурации чугуна в подъемной колонне реактора может быть получено в виде:

$$[S]_c = [S]_k e^{-K\tau_p}; \quad (3)$$

$$K = \frac{F\rho\beta_s}{G_p}. \quad (4)$$

При использовании для ввода магния в металл циркуляционного газлифтного реактора сливаемый из него металл смешивается с находящимся в ковше чугуном. В этом случае изменение содержания серы в находящемся в ковше металле можно описать зависимостью

$$-\frac{d[S]_k}{dt}(G - G_p) = G_c([S]_k - [S]_c), \quad (5)$$

где  $G$  — общая масса обрабатываемого металла, кг;  $G_c$  — производительность газлифтного реактора по расплаву, кг/с;  $t$  — продолжительность обработки, с.

Подставив в уравнение (5) значение  $[S]_c$  из уравнения (3), получим

$$-\frac{d[S]_k}{[S]_k} = \frac{G_c}{G - G_p} (1 - e^{-K\tau_p}) dt. \quad (6)$$

В результате решения уравнения (6) получим

$$-\ln \frac{[S]_{\text{КОН}}}{[S]_{\text{Н}}} = \frac{G_c}{G - G_p} (1 - e^{-K\tau_p}), \quad (7)$$

откуда

$$[S]_{\text{КОН}} = [S]_{\text{Н}} e^{-\frac{G_c}{G - G_p} (1 - e^{-K\tau_p})}, \quad (8)$$

где  $[S]_{\text{Н}}$  и  $[S]_{\text{КОН}}$  — концентрация серы в ковшовом металле до и после обработки, %.

Из уравнения (8) видно, что при подаче магния в подъемную колонну циркуляционного газлифтного реактора ход процесса описывается кинетическим уравнением реакции первого порядка относительно концентрации серы в чугуне аналогично тому, как это имеет место при подаче магния в металл через фурмы. Однако в этом случае скорость реакции зависит также от массы чугуна в подъемной колонне реактора, времени пребывания металла в реакторе и производительности его по жидкому металлу, значения, которых могут быть рассчитаны с использованием методики, изложенной в работах [1, 5].

С целью проверки возможности использования разработанной модели для оценки результатов обработки металла в циркуляционном газлифтном реакторе автором были проведены расчеты результатов десульфурации чугуна применительно к опытно-промышленному реактору, использовавшемуся на установке внедоменной десульфурации чугуна Макеевского металлургического комбината [4]. В расчетах использовались значения коэффициента массопереноса серы в чугуне, рекомендованные автором работы [3]. Чтобы получить возможность сравнивать результаты десульфурации чугуна при различной скорости подачи магния в металл общая продолжительность обработки в уравнении (8) была представлена в виде:

$$t = \frac{q}{\omega_{\text{Mg}}}, \quad (9)$$

где  $q$  — удельный расход десульфуратора, кг/т;  $\omega_{\text{Mg}}$  — интенсивность подачи десульфуратора, кг/(т·с).

Результаты расчетов показаны на рисунке 1 в виде зависимости между степенью десульфурации чугуна и удельным расходом магния на обработку. На этом же рисунке показаны результаты обработки приведенных в таблице 1 данных опытно-промышленного исследования десульфурации передельного чугуна в газлифтном реакторе гранулированным вторичным магниевым сплавом СМГ (ТУ 48-10-43-77) с содержанием магния 86%. Из рисунка видно, что результаты теоретической оценки и данные экспериментальных исследований с достаточной точностью совпадают.

Таким образом, разработанная теоретическая модель корректно отражает характер процессов, протекающих при обработке металла в циркуляционном газлифтном реакторе, и может быть использована для оценки основных параметров технологии десульфурации чугуна в газлифтных реакторах различной конструкции.



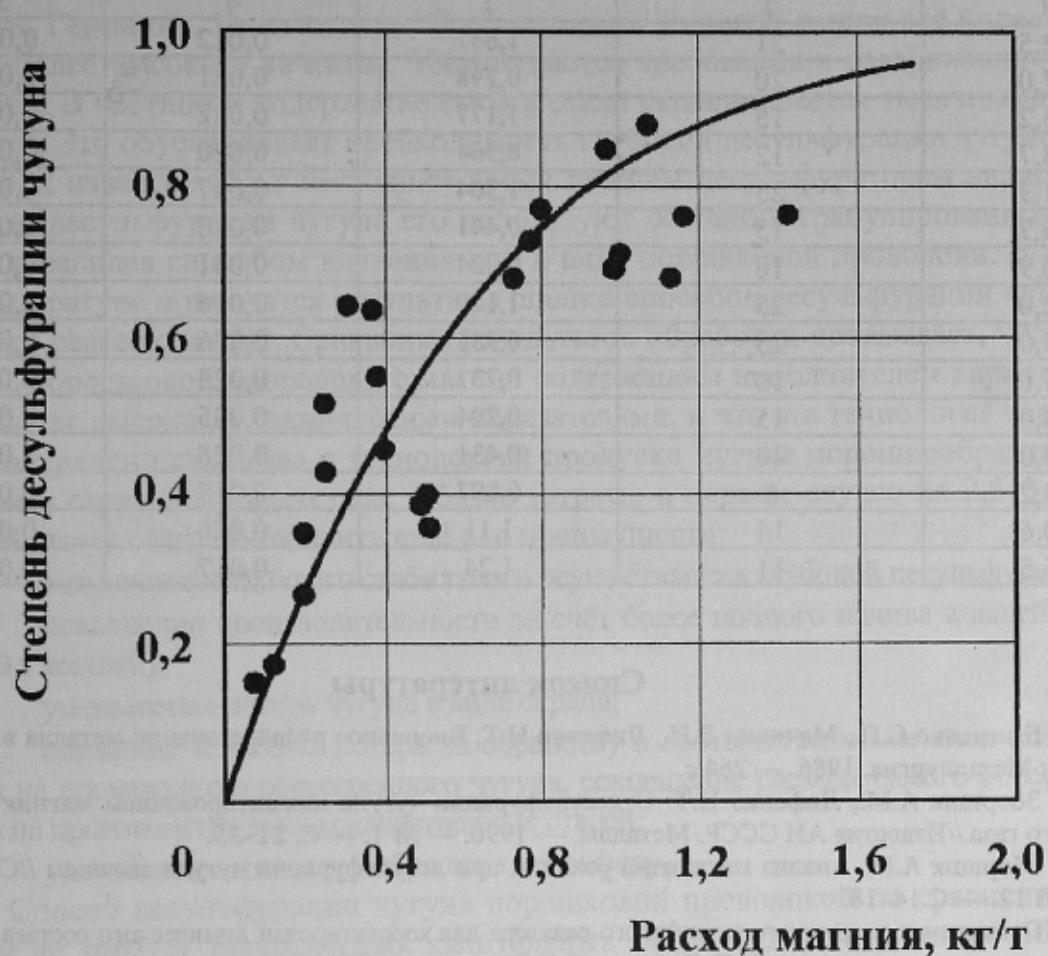


Рисунок 1 - Зависимость степени десульфурации чугуна при обработке магнием в циркуляционном газлифтном реакторе от удельного расхода реагента

Таблица 1 - Результаты десульфурации чугуна в циркуляционном газлифтном реакторе

Масса Чугуна, т	Длительность обработки, мин	Расход сплава, кг/т	Содержание серы, % мас.	
			Начальное	конечное
1	2	3	4	5
49,6	4	0,604	0,028	0,018
68,3	8	0,585	0,023	0,014
52,5	15	0,857	0,025	0,008
43,2	8	0,463	0,013	0,007
65,7	5	0,152	0,028	0,023
53,6	12	1,305	0,034	0,011
50,6	15	0,592	0,047	0,028
51,0	3	0,098	0,037	0,031

Масса Чугуна, т	Длительность обра- ботки, мин	Расход сплава, кг/т	Содержание серы, % мас.	
			Начальное	конечное
1	2	3	4	5
42,5	21	1,647	0,022	0,005
67,0	20	0,298	0,021	0,010
55,2	15	1,177	0,032	0,009
68,7	12	0,364	0,020	0,007
51,3	25	1,364	0,017	0,004
56,7	15	0,441	0,020	0,009
86,9	10	0,224	0,041	0,030
62,0	25	1,129	0,016	0,005
75,0	25	0,933	0,026	0,006
65,0	10	0,231	0,023	0,015
68,0	15	0,294	0,035	0,020
58,0	10	0,431	0,028	0,010
70,2	8	0,897	0,015	0,004
80,6	14	1,11	0,026	0,004
56,5	11	1,24	0,017	0,002

### Список литературы

1. Ефименко С.П., Мачикин В.И., Лифенко Н.Т. Внепечное рафинирование металла в газлифтах. — М.: Metallurgy, 1986. — 264 с.
2. Зборщик А.М., Лифенко Н.Т. О десульфурации чугуна инжестрированием магния в струе природного газа //Известия АН СССР. Металлы. — 1990. — № 1. — С. 21–25.
3. Зборщик А.М. Анализ механизма реакции при десульфурации чугуна магнием //Сталь. — 1996. — № 12. — С.14–18.
4. Применение погружного газлифтного реактора для корректировки химического состава и модифицирования передельного чугуна/Н.Т. Лифенко, В.Л. Пилюшенко, И.В. Черкашин и др.//Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. — 1990. — № 3(1091). — С.50–52.
5. Лифенко Н.Т. Гидродинамика металлургических газлифтных реакторов (статья в сборнике трудов физико-металлургического факультета ДонГТУ).

© Лифенко Н.Т., 1999.

## ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУНА ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ

ДЮДКИН Д.А., ОНИЩУК В.П. (ЗАВОД «УНИВЕРСАЛЬНОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ»), КОВАЛЁВ А.Г. (ДОНГТУ)

*Технология внепечной обработки передельного чугуна порошковой проволокой с наполнителем на основе магния и инертной добавки применена в промышленных условиях. Достигнута степень десульфурации 71,1% при удельном расходе магния 0,577 кг/т.*

Большинство доменных цехов в развитых странах мира успешно используют технологию плавки с пониженной основностью шлаков ( $CaO/SiO_2=0,96-1,18$ ). При этом обеспечивается снижение расхода кокса, повышение производительности, уменьшение выхода шлака. Из-за низкого выхода шлака при этом, не обеспечивается получение низкосернистого чугуна. Удаление серы в соответствии с требованиями осуществляется при внепечной обработке.