

**Кияшко Т. С., Семькин С. И., Семькина Е. В., Пицида В. И.\***

Институт черной металлургии НАН Украины, \*ОАО «Завод им. Петровского»,  
Днепропетровск

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ЧУГУНА НА ПРОЦЕСС РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ НИЗКОВОЛЬТНОГО ПОТЕНЦИАЛА**

*Изучены и проанализированы особенности процесса десульфурации металла в широком диапазоне содержания в чугуне серы и марганца в условиях подведения низковольтного потенциала к конвертерной ванне. Показана возможность значительного повышения уровня десульфурации металла при применении потенциала определенной полярности в зависимости от начальных условий. Установлена целесообразность использования низковольтных потенциалов при переработке чугунов с низким содержанием серы и марганца с повышением к концу продувки показателей рафинирования.*

**Ключевые слова:** низковольтный потенциал, сера, марганец, десульфурация, рафинирование, конвертерная ванна

*Постановка проблемы.* Растущий спрос на все более качественные металлы требует более низких содержаний нежелательных примесей в готовой стали. Возможность выполнения эти требования лимитируется ухудшением качества исходного сырья, в частности, содержанием в нем серы (большая доля загрязнения) и одновременным снижением содержания марганца (бедные руды) или предварительной обработкой чугунов, и, как следствие, низким его содержанием в передельном чугуне. На этапе выплавки при переработке таких чугунов возникают определенные трудности по обеспечению необходимого уровня протекания рафинировочных процессов. Наиболее изученным является диапазон содержания серы 0,030–0,045 %мас. Именно для него наиболее четко определены функциональные зависимости от других компонентов в металле и разработано множество способов удаления серы.

Одним из перспективных и малозатратных методов повышения качества стали является осваиваемый Институтом черной металлургии (ИЧМ) метод наложения низковольтных потенциалов на конвертерную ванну [1, 2].

*Цели и задачи данной работы.* Изучение условий и путей удаления серы при различном ее содержании в чугуне с низким и средним уровнем концентрации в нем марганца при использовании низковольтных потенциалов.

*Обсуждение результатов.* Исследование рафинировочных возможностей низковольтного потенциала двух полярностей в широком диапазоне исходных содержаний в чугуне серы

и марганца проведено сотрудниками ИЧМ в 2008-2009 гг. на ОАО «ДМЗ им. Петровского»\*.

С 2003 г все конвертеры этого завода работают по технологии с применением низковольтного потенциала при конвертерной выплавке стали с определенной полярностью потенциала в течение всей продувки. В связи с этим были проанализированы условия развития процесса рафинирования металла с использованием этой технологии, существующие на момент начала исследования.

В качестве сравнительных взяты плавки без электрических воздействий, проведенные в тот же период. Для выявления особенностей влияния потенциалов анализировались плавки, проведенные по стандартной для данного завода технологии выплавки стали, без промежуточного скачивания шлака. Анализируемые плавки дифференцированы по трем вариантам конвертирования: вариант 1 – без воздействий, варианты 2 и 3 – с подведением к продувочной фурме отрицательной и положительной полярностей потенциала соответственно.

В таблице представлены результаты обобщенного анализа усредненных по сериям опытных плавков показателей. Данные подтверждают выявленные в предыдущих исследованиях [3, 4] направления влияния низковольтного потенциала на повышение степени десульфурации металла по сравнению с плавками, проведенными на том же агрегате без электрических воздействий, особенно при отрицательной полярности потенциала на фурме (вариант 2). Следует отметить, что группа плавков, проведенных с применением низковольт-

\* В работе от ОАО «ДМЗ им. Петровского» принимали участие: нач. конвертерного цеха С. М. Онацкий, нач. цеха заводских лабораторий А. В. Шибко

### Усредненные параметры опытных плавков

Параметры плавки	Варианты опытных плавков		
	1	2	3
Количество плавков, шт	368,0	378	350
Масса чугуна, т	59,7	59,1	58,3
Масса металлолома, т	6,3	6,8	7,0
Хим. состав чугуна, %:			
– кремний	0,79	0,82	0,82
– марганец	0,54	0,50	0,40
– сера	0,034	0,035	0,037
Температура железосодержащих материалов, °С*	1166	1153	1146
Добавки в конвертер, т:			
– известь своего производства	2,98	3,02	2,96
– привозная известь	1,34	1,41	1,83
– доломит	0,18	0,28	0,18
– плавиковый шпат	0,15	0,12	0,15
Потребляемая мощность, кВт/т	–	0,18	0,18
Хим. состав металла, %:			
– углерод	0,21	0,23	0,31
– марганец	0,21	0,19	0,21
– сера	0,031	0,031	0,030
Масса стальных слитков, т	59,5	59,9	59,8
Температура фактическая, °С	1630	1634	1634
Прирост температуры фактический, °С	464	481(17)	488(24)
Основность шлака	2,62	2,70	2,63
Хим. состав шлака, %:			
– окись марганца	4,66	4,11	2,40
– окись магния	6,00	5,48	5,90
– сера	0,126	0,132	0,144
– железо общ.	18,22	18,50	16,30
Десульфурация металла, %	14,1	17,4	12,0
Степень окисления марганца, %	62,6	62,3	53,9
Распределение $L_s$	4,02	4,27	4,66
Распределение $L_{Mn}$	22,1	21,2	12,5
Коэффициент ассимиляции извести, % **	72,8	73,7	68,9
Расчетное количество серы, переходящей в газ, %	19,0	22,9	25,6

\* Температура железосодержащих материалов ( $t_{жсм}$ ):  $t_{жсм} = (t_{чуг} \times \% \text{чуг} + t_{лом} \times \% \text{лом})$ , где  $t_{чуг}$  – температура чугуна, °С;  $t_{лом}$  – температура стального лома (принята равной 20 °С) % чуг, % лом – процентное содержание жидкого чугуна, металлолома в массе металлозавалки.

\*\* Коэффициент ассимиляции извести:  $K_{ассимиляции\ извести} = 100 (B_{фактическая} / B_{расчетная})$ ,

где  $B_{расчетное} = \frac{G_{извести} \times (\% \text{CaO})}{G_{чугуна} \times [\% \text{Si}] \times (32 + 28) / 28}$ ;  $B_{фактическая}$  – фактическая основность шлака;

$B_{расчетная}$  – расчетная основность,  $G_{извести}$  – масса добавки извести; (% CaO) – процентное содержание CaO в извести;  $G_{чугуна}$  – масса чугуна; [% Si] – процентное содержание кремния в чугуне; 32 и 28 – мольные массы кислорода и кремния

ного потенциала, отличалась несколько повышенным, по сравнению с плавками без электрических воздействий, содержанием в чугуне серы и большим количеством присаживаемого металлического лома, в котором также содержится определенное количество серы. Особенно это относится к плавкам, проведенным с положительной полярностью на продувочной фурме (вариант 3). Кроме

того, содержание марганца в чугуне на этих плавках было пониженным, что должно ухудшать процесс шлакообразования и, как следствие, снижать степень десульфурации металла.

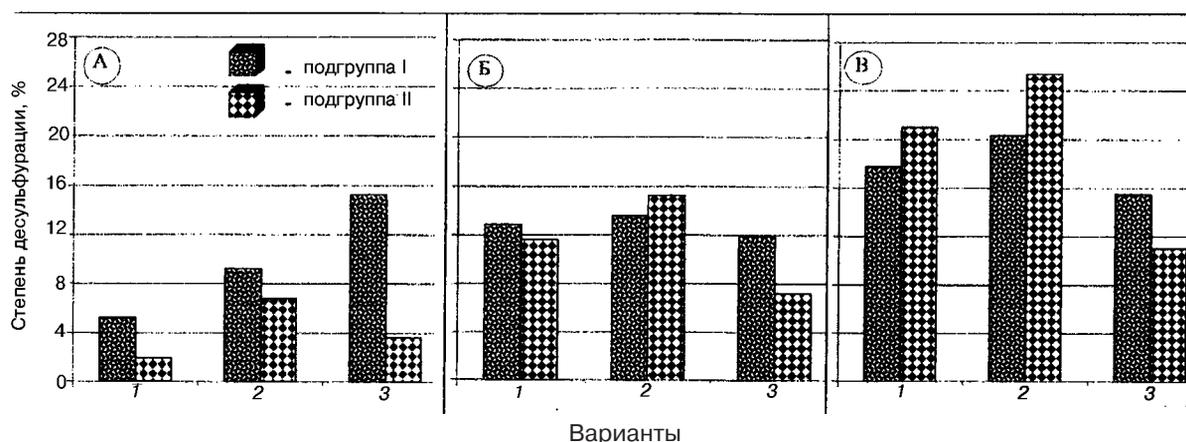
Ранее в работе [5] были показаны особенности изменения содержания серы и марганца в металле по ходу продувки плавки при воздействии низковольтного потенциала и отмечена возможность

протекания в этих условиях процесса десульфурации с восстановлением марганца из шлака в металл, особенно к концу продувки. При выполнении анализа влияния содержания марганца в чугуне на величину степени десульфурации металла общий массив опытных плавов был разделен на группы по исходному содержанию (%мас.) серы в чугуне этих компонентов: группа «А» – с пониженным (0,014-0,027), группа «Б» – со средним (0,028-0,038) и группа «В» – с повышенным (0,039-0,069). Плавки каждой из трех групп дополнительно были разбиты на две подгруппы по исходному содержанию (%мас.) марганца в чугуне: I – низкий уровень (0,2-0,3) и II – средний уровень (0,4-0,6).

Значения степени десульфурации металла к концу продувки по исследуемым группам плавов (по вариантам конвертирования в пределах подгрупп) представлены на рисунке.

что повышение содержания марганца в чугуне повышает степень десульфурации металла.

На плавках по варианту 3 (с положительной полярностью потенциала на фурме) наблюдается иная зависимость величины степени десульфурации от исходного содержания как серы, так и марганца, а именно: во всем изученном диапазоне значений с уменьшением содержания этих примесей отмечено повышение степени десульфурации металла, что противоположно вариантам 1 и 2. Несмотря на то, что процесс удаления серы должен существенно затрудняться при низких значениях ее содержания в чугуне, в опытном варианте 3 установлено значительное увеличение степени десульфурации в группе «А» подгруппы I: в 1,5 раза – по сравнению с вариантом 2 и в 3 раза – по сравнению с вариантом 1. Против ожидания, повышение содержания марганца в варианте 3 приводит к ухудшению процесса десульфурации.



Уровень степени десульфурации металла по исследуемым вариантам по группам

Как видно из рисунка (группы плавов «А»-«В»), для обычного процесса конвертирования (вариант 1) прослеживаются известные зависимости [6, 7], при которых с ростом исходного содержания серы в чугуне увеличивается уровень достигаемой к концу продувки плавки степени десульфурации. Кроме того, достигаемый уровень степени десульфурации для этого варианта в пределах каждой группы по исходному содержанию серы в чугуне существенно зависит и от исходного содержания в нем марганца. При сопоставлении подгрупп плавов (разбивка по марганцу) установлено, что только в группе плавов «В» влияние марганца соответствует известному из литературных источников [6, 7], в то время как в группах плавов «А» и «Б» пониженное содержание марганца (подгруппа I) благоприятно влияет на процесс десульфурации.

При исследовании результатов плавов, выполненных с электрическими воздействиями, проведенных по варианту 2 (отрицательная полярность потенциала на фурме), в группах «А» и «В» установлен аналогичный варианту 1 характер влияния содержания в чугуне как серы, так и марганца, но с получением более высокого уровня степени десульфурации. В группе «Б» отличительной особенностью влияния исходного содержания марганца на степень десульфурации металла является то,

Для выяснения причин установленных различий по десульфурации металла выполнен расчет количества серы, удаляемой в шлак и газовую фазу, который показал, что в варианте 1 в газовую фазу переходит порядка 19 % серы, в то время как использование электрических потенциалов приводит к увеличению ее количества, переходящей в газовую фазу до 22,9 % в варианте 2 и 25,6 % – в варианте 3. Это в какой-то мере объясняет полученные результаты по улучшению процесса десульфурации при положительной полярности в случае снижения начального содержания марганца, который способствует формированию шлака.

Сопоставительный анализ результатов опытных плавов показал, что при электрических воздействиях присутствуют два пути удаления серы из металлического расплава. В первом случае происходит перевод серы из металла в шлаковый расплав с последующей фиксацией ее в комплексах и соединениях, что усиливается в варианте 2 – это подтверждает повышенный (по сравнению с другими вариантами) коэффициент ассимиляции извести, которая способствует повышению возможности поглощения серы шлаком. А это достигается при более высоком уровне начального содержания марганца в чугуне, который, как и окислы железа, способствует формированию шлака и лучшему растворению, и усвоению извести.

Во втором случае электрические воздействия формируют условия для перевода серы либо непосредственно из металла в газ за счет электрохимического окисления серы на его поверхности (к металлу подводится избыточное количество электронов), либо из шлака в газ с последующим углублением процесса десульфурации металла, что характерно для варианта 3. Установлено также, что в этих условиях для эффективного протекания процесса десульфурации требуется более низкая основность шлака.

#### Выводы

Проведенным анализом показано, что уровень содержания серы и марганца в чугуне оказывает определенное влияние на развитие процесса десульфурации. Выявлено, что электрические воздействия могут существенно изменять характер

удаления серы из металла. Установлено, что при положительной полярности на фурме реализуются условия для увеличения доли серы, переходящей в газовую фазу, причем этот эффект возрастает со снижением содержания марганца в чугуне и основности шлака. При отрицательной полярности эффект увеличения степени десульфурации металла связан с переводом большей доли серы в шлак, формирование которого улучшается при этой полярности. Использование технологии выплавки металла с электрическими воздействиями позволяет, кроме повышения степени десульфурации металла, снизить расход шлакообразующих материалов и эффективно использовать для переработки низкомарганцовистые чугуны с содержанием серы в широком диапазоне значений.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование конвертерного процесса при воздействии электрической энергии / С. И. Семькин, В. В. Смоктий, В. Ф. Поляков, и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1992. – № 10. – С. 6-8.
2. Применение электрической энергии малой мощности при выплавке стали в конвертерах / С. И. Семькин, В. Ф. Поляков, Ю. Н. Борисов и др. // Тр. 1 конгресса сталеплавильщиков. – М.: Черметинформация, 1993. – С. 55-57.
3. Промышленное опробование на заводе им. Петровского технологии конвертерной плавки с наложением электрического потенциала на жидкую ванну / С. И. Семькин, В. Ф. Поляков, Е. В. Семькина, и др. // Тр. IX международной научно-технической конференции «Теория и практика кислородно-конвертерных процессов». – Днепропетровск, 1998. – С. 36-37.
4. Особенности рафинирования металла в конвертере при использовании электрического воздействия на расплав / С. И. Семькин, Е. В. Семькина, В. Ф. Поляков и др. // Тр. V конгресса сталеплавильщиков. – М.: Черметинформация, 1999. – С. 80-86.
5. Кияшко Т. С., Семькин С. И., Семькина Е. В. Поведение серы и марганца в конвертерной ванне при воздействии низковольтного электрического потенциала // Новости науки Приднепровья. – Днепропетровск, 2008. – С. 77-79.
6. Явойский В. Я. Теория процессов производства стали. – М.: Металлургиздат, 1963. – 820 с.
7. Борнацкий И. И. Десульфурация металла. – М.: Металлургия, 1970. – 320 с.
8. Семькина Т. С., Семькин С. И. Влияние полярности налагаемого на конвертерную ванну электрического потенциала на состояние и химический состав шлакового расплава // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2007. – Вып 15. – С. 125-129.

**КІЯШКО Т. С., СЕМИКІН С. І., СЕМИКІНА О. В., ПІЩИДА В. І.** Вивчення впливу складу чавуну на процес рафінування металу в умовах підведення низьковольтного потенціалу

*Вивчені та проаналізовані особливості процесу десульфуратії металу в широкому діапазоні вмісту в чавуні сірки і марганцю в умовах підведення низьковольтного потенціалу до конвертерної ванни. Показана можливість значного підвищення рівня десульфуратії металу при використанні потенціалу певної полярності залежно від початкових умов. Встановлена доцільність використання низьковольтних потенціалів при переробці чавунів з низьким вмістом сірки і марганцю з підвищенням до кінця продування показників рафінувальння.*

**KIIASHKO T., SEMYKIN S., SEMYKINA E., PISHCHIDA V.** Study of influence of composition of cast-iron on the process of affinage of metal in the condition of applications of low-voltage potential

*The feature of process of metal desulphurization in the wide range of maintenance in hot metal of sulphur and manganese are studied and analyzed in the conditions of imposition of low-voltage potential to converter. Possibility of considerable increase of level of desulphurization of metal is disclosed at imposition of potential of certain polarity depending on initial conditions. Expedience of the use of low-voltage potentials is set at processing of hot metal with low maintenance of sulphur and manganese with an increase of refining indexes.*