

**А.С.Вергун, В.Г.Кисляков, В.Ф.Поляков, В.П.Корченко,  
Л.Г.Тубольцев, А.Ф.Шевченко, Н.И.Падун, Т.С.Семькина**

### **ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ МЕТАЛЛА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «УДЧ–КОНВЕРТЕР»**

Выполнен анализ данных плавов текущего производства кислородно-конвертерного цеха с конвертерами емкостью 130 т с комбинированной продувкой, работающими в комплексе с установкой десульфурации чугуна. Проведена оценка и выполнен анализ факторов, влияющих на конечное содержание серы в металле. Предложен балансовый метод прогнозирования вероятного уровня содержания серы в металле по окончанию продувки.

**Постановка задачи.** В мировой практике большое внимание уделяется вопросам подготовки жидкого металла к конвертерной плавке. Основные усилия исследователей данной тематики сегодня направлены на повышение эффективности десульфурации и дефосфорации чугуна, на использование обязательного скачивания шлака, на применении экспресс-контроля химического состава жидкой стали. Однако используемые приемы приводят к существенному удорожанию себестоимости продукции, в связи с чем определение рациональной схемы производства высококачественной стали в комплексе сталеплавильного переделья является актуальной задачей.

**Методика исследования.** Анализ выполнен с использованием данных по 145 плавкам текущего производства, проведенным в кислородно-конвертерных цехах с конвертерами емкостью 130 и 140 т, работающими по технологии с комбинированной продувкой при вдувании кислорода сверху и подачей нейтрального газа через донные дутьевые устройства. Чугун, используемый в конвертерных цехах, относится к категории среднефосфористых (содержание фосфора 0,67–0,89%). Технологии конвертерного передела средне- и высокофосфористых чугунов отрабатывались на заводах Западной Европы с момента появления кислородно-конвертерного производства стали [1]. Наиболее простые варианты таких технологий предусматривают повалки конвертера для скачивания части шлака с последующими додувками и добавками извести для обеспечения условий получения кондиционного содержания фосфора в металле перед сливом из конвертера. Технология выплавки стали плавов анализируемой выборки предусматривала одну предварительную повалку с последующей додувкой. Выплавлялись низкоуглеродистые стали различного назначения. Чугун для части плавов обрабатывался на УДЧ.

Металлошихта состояла из жидкого и твердого чугуна, а также металлолома. Для ускорения шлакообразования и регулирования температурного режима плавов использовали железорудные окатыши и руду. Содер-

жание кремния в чугуне изменялось в широких пределах – от 0,105 до 1,43% и вследствие этого значительно изменялась масса составляющих металлошихты, железорудных материалов, извести, а также температура металла на первой повалке. В результате этого в период додувки принимались меры для снижения температуры металла. Основные технологические и технико-экономические показатели плавки представлены в табл. 1

Таблица 1. Технологические показатели кислородно-конвертерных плавки

| №  | Технологические показатели                     | Min   | Max   |
|----|--|-------|-------|
| 1  | Масса жидкого чугуна, кг                       | 71550 | 83350 |
| 2  | Масса металлолома, кг                          | 20200 | 28940 |
| 3  | Масса твердого чугуна, кг                      | 10000 | 17000 |
| 4  | Масса окатышей, кг                             | 211   | 1900  |
| 5  | Расход руды, кг                                | 0     | 3068  |
| 6  | Расход извести (CaO), кг                       | 3604  | 15865 |
| 7  | Расход O <sub>2</sub> , м <sup>3</sup> /плавку | 4552  | 5655  |
| 8  | Температура чугуна, °C                         | 1250  | 1370  |
| 9  | Температура металла на 1 повалке, °C           | 1570  | 1746  |
| 10 | Температура металла на выпуске, °C             | 1582  | 1680  |
| 11 | Масса жидкой стали, кг                         | 87099 | 94901 |

Химический состав чугуна и динамика изменения содержания компонентов металла по этапам плавки представлена на рис.1–4. На рисунках обозначено максимальное и минимальное содержание компонентов металла. Этап 1 относится к химсоставу чугуна, этап 2 – к химсоставу металла после первой повалки, этап 3 – к химсоставу металла на выпуске.

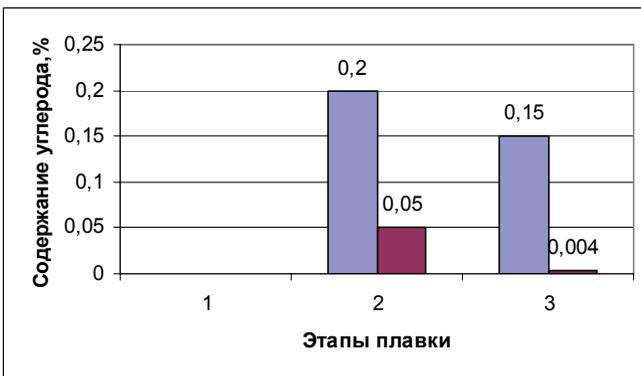


Рис. 1. Изменение содержания углерода в металле по этапам плавки. (Светлые столбики – максимальные значения; темные – минимальные).

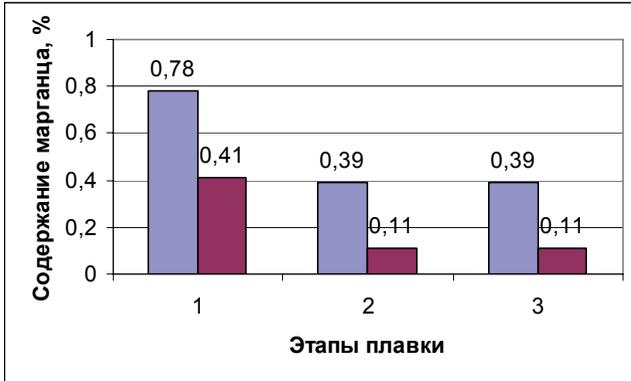


Рис.2. Изменение содержания марганца в металле по этапам плавки.

Рис.3. Изменение содержания фосфора в металле по этапам плавки (содержание фосфора в чугунае – 0,67–0,89%).

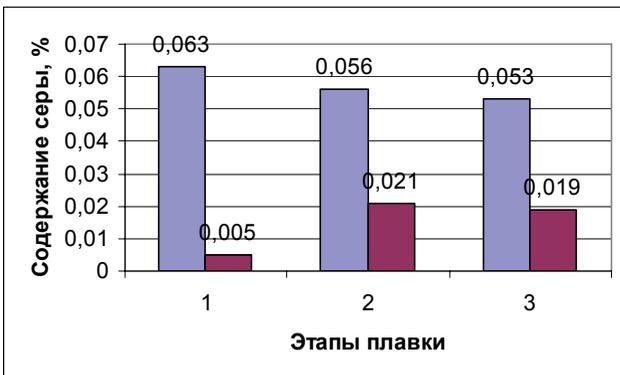
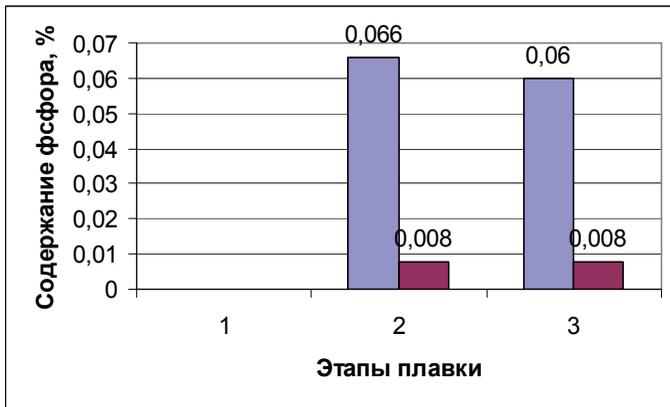


Рис.4. Изменение содержания серы в металле по этапам плавки.

**Изложение основных материалов исследования.** Анализ динамики изменения химсостава металла показывает, что при производстве низко-

углеродистой стали в условиях принятой технологии в период додувки допускался передув металла до низких содержаний углерода (до 0,004%). При этом содержание фосфора и серы в период дополнительной продувки после первой повалки обеспечивало кондиционные концентрации этих компонентов в ковшевой пробе для сталей производимого сортамента.

Анализ динамики процесса десульфурации металла по ходу плавки (рис.4) показывает, что нижний предел содержания серы в металле увеличивается примерно в 4 раза (от 0,005 до 0,019%), а верхний предел снижается только на 0,010% (с 0,063 до 0,053%). В целом, применяемая технология (продувка до низких содержаний углерода, предварительная повалка со скачиванием шлака, додувка с добавкой шлакообразующих) способствовали получению кондиционного металла. Тем не менее, содержание серы в металле на многих плавках значительно выше, чем в исходном чугуна. Такое положение вызвано дополнительным поступлением серы в конвертерную ванну с другими шихтовыми материалами (металлоломом и твердым чугуном), а также с ковшевым шлаком, поступающим в конвертер с чугуном после обработки на УДЧ. Количество серы в металлоломе составляло 0,05–0,06%, а в твердом чугуна – около 0,08%.

Для дополнительного анализа данные массива плавков разделили по содержанию серы в исходном чугуна на 2 группы. Для плавков первой группы содержание серы в чугуна, заливаемом в конвертер, составляло 0,031–0,063%. Чугун этих плавков не обрабатывался на УДЧ. Чугун плавков второй группы проходил операцию десульфурации на УДЧ, и содержание серы в чугуна, заливаемом в конвертер, составляло 0,005–0,016%. Результаты обработки сопоставлены на рис.5 и 6.

Из литературы [2] известно, что производства стали в кислородных конвертерах при отсутствии внепечной обработки чугуна после окончания продувки содержание серы в стали определяется, в основном, содержанием серы в передельном чугуна. На плавках с использованием высокосернистого чугуна содержание серы в металле в результате конвертерного передела снизилось на 0,006–0,010% от исходного в чугуна (рис.5). При продувке в конвертерах чугуна с низким и сверхнизким содержанием серы процесс десульфурации в конвертере отличается от процесса при переделе чугунов с традиционным содержанием серы. При этом (как отмечено в литературе [3,4]) несколько меняется роль факторов (основности, окисленности шлака), определяющих уровень десульфурации. На конечный результат значительное влияние начинает оказывать сера, поступающая с другими шихтовыми материалами, металлоломом и шлаком после внепечной обработки чугуна. В результате, содержание серы в металле по окончанию продувки может оказаться значительно выше, чем в чугуна, что и было получено при переработке обессеренного чугуна. При переработке низкосернистого чугуна содержание серы увеличивалось на 0,014–0,028% (рис.6), хотя, в целом, металл этих плавков имел содержание серы на 0,006–0,009% ниже, чем металл плавков без обработки чугуна.

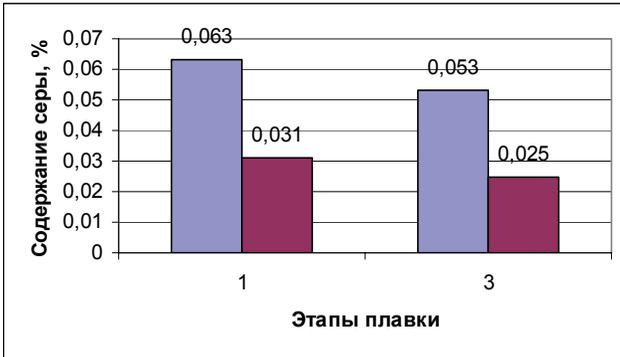


Рис.5. Изменение содержания серы в металле по этапам плавки (чугун без обработки на УДЧ).

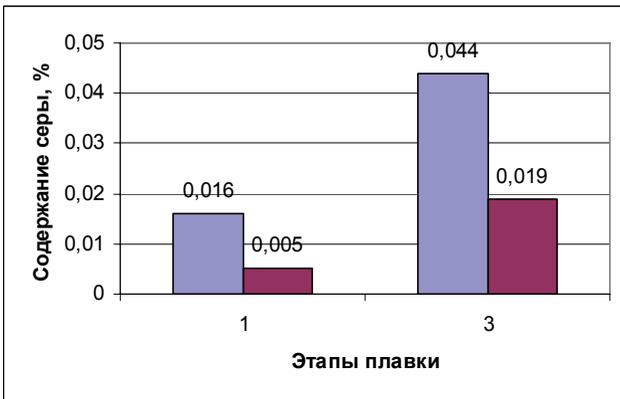


Рис.6. Изменение содержания серы в металле по этапам плавки (чугун после обработки на УДЧ).

Зависимость содержания серы в металле от содержания серы в чугуне для всей совокупности

плавков анализируемой выборки представлена на рис.7. Приведенная зависимость имеет линейный характер. Отмечается большой разброс значений содержания серы в металле при близкой по величине сере в чугуне. Разброс обуславливается влиянием многих факторов, к которым относятся: расход металлолома и твердого чугуна, качество твердой металлошхты, степень скачивания шлака на УДЧ, контроль соблюдения технологических инструкций и т.д. Следует отметить, что плавки в 130-т конвертерах анализируемой выборки проводились в период освоения технологии десульфурации чугуна и скачивания шлака, когда степень скачивания шлака из ковшей после десульфурации чугуна составляла около 50%, в результате чего в конвертер с ковшевым шлаком поступало значительное количество серы.

Подтверждением этого могут служить представленные на рис.7 данные другой группы промышленных плавков, проведенных в 140-т конвертерах с комбинированной продувкой. Особенностью этой группы плавков являлось то, что количество серы, поступающей в конвертер было мень-

шим вследствие более высокой степени скачивания шлака и меньшего расхода металлолома.

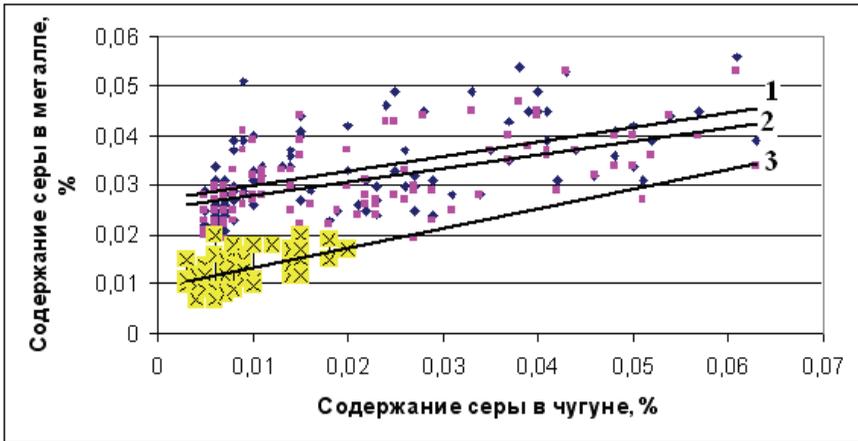


Рис.7. Зависимость содержания серы в металле от содержания серы в чугуне.♦ (1) – сера в металле на 1 повалке в130т конвертере с комбинированной продувкой (расход металлолома 300 кг/т стали, степень скачивания ковшевого шлака после десульфурации ~50%); ■ (2) – то же на выпуске; X (3) — сера в металле на 1 повалке в140т конвертере с комбинированной продувкой (расход металлолома 180 кг/т стали, степень скачивания ковшевого шлака после десульфурации ~70%).

Подобные зависимости для существующих условий производства могут быть использованы для ориентировочного прогнозирования содержания серы в металле на выпуске из конвертера, особенно с учетом контрольного анализа на первой повалке.

Для проведения ориентировочных прогнозных расчетов целесообразно количество серы, поступающей в конвертер, привести к расчетной величине концентрации серы в чугуне или в металлическом расплаве (сумма веса чугуна и лома). При таком подходе появляется возможность качественного прогнозирования содержания серы в металле в конце кислородно-конвертерной плавки.

Исходя из этого можно составить следующее балансовое уравнение:

$$[S]_{\text{кон.мет.}}, \% = \left( \frac{[S]_{\text{мет.распл.}}, \%}{100\%} \right) \cdot (100\% - \Delta S, \%) \quad (1)$$

где:

$[S]_{\text{кон.мет.}}, \%$  – содержание серы в металле в конце плавки;

$[S]_{\text{мет.распл.}}, \%$  – расчетное содержание серы в исходном металлическом расплаве, %;

$\Delta S, \%$  – степень десульфурации металла в конвертере, т.е. доля серы в конечном металле от расчетного содержания серы в исходном жидком расплаве, %;

$$[S]_{\text{мет.распл.}}, \% = \left( \frac{P_{\text{мет.распл.}}, \text{ кг}}{P_{\text{мет.распл.}}, \text{ кг}} \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

где:

$P_{\text{Смет.распл.}, \text{кг}}$  – количество серы, приходящее в металлический расплав со всеми шихтовыми материалами, а также со шлаком после внепечной обработки чугуна, кг;

$$P_{\text{Смет.распл.}, \text{кг}} = [P_{\text{чуг.}, \text{кг}} \cdot [S]_{\text{чуг.}, \% / 100\%}] + [P_{\text{лом.}, \text{кг}} \cdot [S]_{\text{лом.}, \% / 100\%}] + [P_{\text{шихт.мат.}, \text{кг}} \cdot (S)_{\text{шихт.мат.}, \% / 100\%}] + [P_{\text{шлак.}, \text{кг}} \cdot [S]_{\text{шлак.}, \% / 100\%}];$$

$$P_{\text{мет.распл.}, \text{кг}} = P_{\text{чуг.}, \text{кг}} + P_{\text{лом.}, \text{кг}}$$

Анализируя влияние составляющих балансового уравнения необходимо отметить, что чугун перед каждой плавкой взвешивается, а содержание серы в чугуне известно перед началом плавки. Что касается лома, то содержание серы в нем к началу плавки не известно. Поэтому при переделе чугуна, прошедшего этап внепечной десульфурации, содержание серы в металле может оказаться выше, чем в исходном чугуне. Особенно это отмечается после глубокой десульфурации чугуна. Для исключения такого положения необходимо осуществлять мероприятия по отбору и отдельному складированию низкосернистого оборотного лома. С учетом этих обстоятельств, при производстве высококачественных сталей добавка лома может быть значительно сокращена, например, при снижении содержания кремния в чугуне, а в некоторых вариантах современных технологий, например, при бесшлаковой продувке, добавка лома может быть совсем исключена.

Содержание серы в извести контролируется, а в железорудных материалах, используемых в небольших количествах для ускорения шлакообразования и корректировки температуры металла (окатыши, агломерат), известно из сертификата и может быть проконтролировано до применения.

При переделе чугуна после внедоменной десульфурации количество шлака (см. уравнение 2), образующегося при обработке и попадающего в конвертер, оказывает существенное влияние на содержание серы в конечном металле. Содержание серы (количество серы в шлаке) можно определить путем химического анализа, либо на основании расчетов по исходному и конечному содержанию серы в чугуне. Количество шлака можно определять визуально, либо расчетом по результатам предыдущих обработок чугуна (массива обработок).

В промышленных условиях для прогнозных расчетов содержания серы в металле по предложенному балансовому уравнению наиболее удобным может оказаться определение величины степени десульфурации по статистическим зависимостям, полученным по входящим и конечным показателям для массивов конвертерных плавов, которые должны быть дифференцированы по содержанию углерода в металле по окончанию продувки.

**Выводы.** Проведена оценка и выполнен анализ факторов (содержания серы в чугунах, расход металлолома, количество шлака УДЧ), влияющих на конечное содержание серы в металле в условиях производства стали в технологическом комплексе «УДЧ–Конвертер».

В условиях работы с использованием обессеренного чугуна в металле на выпуске из конвертера содержание серы может оказаться выше, чем в исходном чугунах. Связано это с поступлением серы в конвертерную ванну с другими шихтовыми материалами.

В условиях технологического комплекса «УДЧ–Конвертер» при производстве низкосернистых сталей главной задачей является сохранение достигнутого на УДЧ содержания серы путем удаления шлака после внепечной обработки, специального отбора и сокращения количества используемого металлолома.

1. *Перлов Н.И., Квитко М.П.* Прогресс в кислородно-конвертерном производстве. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1963. – 423 с.
2. *Баттизманский В.И.* Теория кислородно-конвертерного процесса. – М.: Металлургия, 1975. – 375 с.
3. *Исследование особенностей окисления примесей металла на конечных этапах кислородно-конвертерной плавки / В.П. Корченко, Л.Г. Тубольцев, В.Ф. Поляков и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – №7. – С.45–48.*
4. *Особенности процесса десульфурации в конвертере в условиях комбинированной продувки / В.П. Корченко, Л.Г. Тубольцев, В.Ф. Поляков и др. // Сб. тр. ИЧМ. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Вып.13. – 2006. – С.60–70.*

*Статья рекомендована к печати  
докт.техн.наук, проф. Д.Н.Тогобицкой*