

**В.П.Корченко, Л.Г.Тубольцев, В.Ф.Поляков, Н.И.Падун,
А.М.Шевченко**

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОСФОРАЦИИ И ДЕСУЛЬФУРАЦИИ НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ ЭТАПАХ КИСЛОРОДНО–КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ С КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОДУВКОЙ

Целью исследования являлось изучение закономерностей поведения фосфора и серы в процессе кислородно-конвертерной плавки. Исследованы технологические возможности заключительных этапов кислородно–конвертерного процесса с комбинированной продувкой для выплавки металла с низким содержанием фосфора и серы. Показано, что при постоянном количестве фосфора и серы, вносимых с известью и ломом, динамика изменения содержания серы в металле зависит от содержания серы в чугуне. Минимальное содержание фосфора, достигнутое на этапе полного падения факела, уже не снижается на этапе передув. В процессе передув и промывки металла нейтральным газом через донные фурмы без подачи кислорода сверху содержание серы в металле снижается до 0,0030–0,0072%.

кислородно-конвертерная плавка, этап полного падения факела, передув и промывка металла, поведения фосфора и серы

Введение. Конвертерное производство стали в Украине в настоящее время находится на этапе модернизации, одним из элементов которой является реализация прогрессивной технологии с комбинированной продувкой. Известно, что эта технология широко используется за рубежом и обеспечивает снижение энерго– и материалоемкости процесса, повышение качества стали, возможность производства продукции со специальными свойствами [1,2]. В таких условиях возрастает потребность в информации об особенностях и возможностях технологий выплавки металла в конвертерах с комбинированной продувкой и, особенно, возможностях обеспечения низкого содержания фосфора и серы в металле.

Постановка задачи. На экспериментальной базе ИЧМ было проведено исследование особенностей технологии с комбинированной продувкой для получения металла с низким и сверхнизким содержанием примесей. Опытные плавки проводили в 1,5–т конвертере. Главной задачей исследования являлось определение влияния заключительных этапов кислородно–конвертерной плавки с комбинированной продувкой на итоговые технологические показатели процесса, поскольку именно на этих этапах обеспечивается низкое содержание углерода и минимальные концентрации фосфора и серы в металле.

Исследовались технологии конвертерной плавки с комбинированной продувкой с подачей кислорода через верхнюю фурму и нейтрального газа (азота) через донные дутьевые устройства. Технологии включали следующие заключительные этапы:

1. начало падения факела;
2. полное падение факела;
3. передув после полного падения факела;
4. продувка (промывка) металла нейтральным газом после передув;

5. продувка (промывка) металла нейтральным газом после полного падения факела.

Проводилось исследование технологий, включающих заключительные этапы плавки 1→2→3→4 и 1→2→5. Начало падения факела определялось визуально с момента снижения интенсивности и светимости факела, т.е. являлось в некоторой степени субъективным параметром. Однако, название этого этапа плавки является общепринятым и широко используется в практике кислородно-конвертерного производства для оценки состояния конвертерной ванны. Полное падение факела определялось моментом исчезновения факела и бурного выделения черного дыма (этапа горения железа). Длительность периода передувки после полного падения факела и периодов продувки нейтральным газом задавали в соответствии с планом проведения эксперимента: 1–3 минуты для периода передувки и 2–3 минуты для периода продувки нейтральным газом.

Основной классификации конечных этапов является содержание углерода как главной характеристики жидкого металла. Содержание углерода на заключительных этапах представлено на рис.1. левый столбик представляет максимальное значение из совокупности данных, правый столбик – минимальное значение.



Рис.1. Изменение содержания углерода в металле по заключительным этапам плавки. Содержание углерода в чугуна – 3,55–4,32%.

На заключительных (конечных) этапах конвертерной плавки достигаются наиболее низкие содержания углерода, фосфора и серы, особенно на этапе промывки металла нейтральным газом. На этапе промывки в металле может быть обеспечена концентрация углерода порядка 0,01%, а фосфора и серы – 0,003%.

Содержание фосфора в чугуна опытных плавки находилось в пределах – 0,110–0,160%, т.е. в пределах ГОСТов и современной промышленной практики металлургических предприятий Украины. Отмечается, что к началу падения факела верхний предел содержания фосфора составляет 0,060%, что выше требований верхнего кондиционного предела содержания фосфора (0,040%) для многих марок стали (рис.2).

К моменту полного падения факела обеспечивается концентрация фосфора от менее 0,003 до 0,040%, т.е. в пределах требований для широкого круга марок стали. На этапе передувки верхний предел содержания фосфора снижается с 0,040 до 0,013%. Этапы продувки металла нейтральным газом после полного падения факела и после передувки обеспечивают снижение содержания фосфора до уровня 0,003–0,0069% (рис.2).

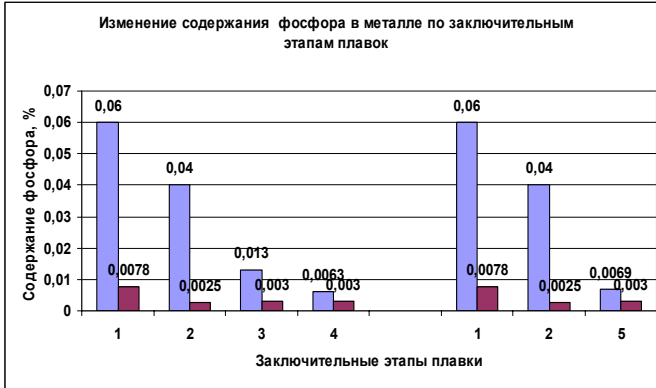


Рис.2. Изменение содержания фосфора в металле по заключительным этапам плавки.

Анализ данных, представленных на рис.2, качественно показывает наличие взаимосвязи между входными и выходными значениями содержания фосфора в металле, для оценки которой определили следующие зависимости выходных параметров от входных:

А) зависимость содержания фосфора в металле на этапе начала падения факела от содержания фосфора в чугуне;

Б) зависимость содержания фосфора в металле на этапе полного падения факела от содержания фосфора в чугуне;

В) зависимость содержания фосфора в металле при полном падении факела от содержания фосфора в металле в начале падения факела;

Г) зависимость содержания фосфора в металле после этапа передувки от содержания фосфора в металле после полного падения факела.

Полученные зависимости представлены на рис.3–5.

Установлено, что по позициям А,В,Г значения выходных величин находятся в прямой зависимости от входных (рис.3,5,6). По позиции Б зависимость содержания фосфора в металле на этапе полного падения факела от содержания фосфора в чугуне не проявляется (рис.4). Связано это с ускорением процесса дефосфорации в период падения факела. Если, например, к началу падения факела достигаются минимальные концентрации фосфора в металле порядка 0,01%, то после полного падения факела получены значения порядка 0,0025–0,0030% (рис.2). Минимальные содержания фосфора, достигнутые на этапе полного падения факела, на этапе передувки уже не снижаются (рис.2).

По требованиям к «чистым» сталям нижний предел содержания фосфора в металле составляет 0,0035%. Таким образом, требования к «чистым» сталям

могут быть обеспечены на этапе полного падения факела и этапе передувки, но при определенном значении входных величин этого параметра.

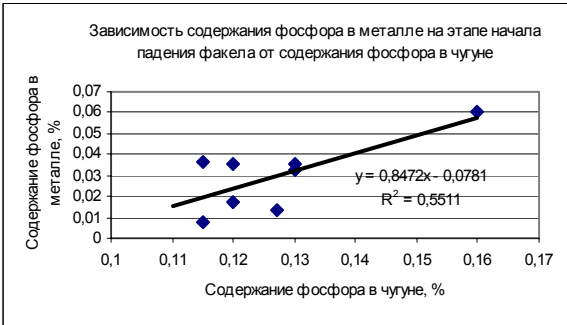


Рис.3. Зависимость содержания фосфора в металле на этапе начала падения факела от содержания фосфора в чугуна (позиция А).

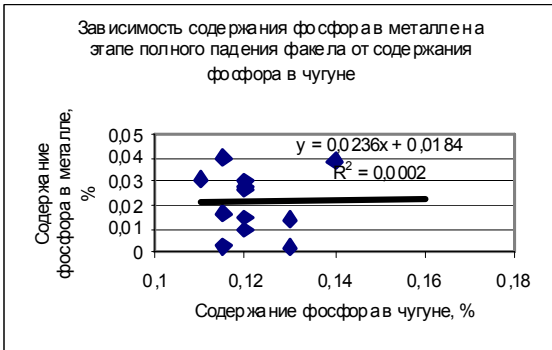


Рис.4. Зависимость содержания фосфора в металле на этапе полного падения факела от содержания фосфора в чугуна (позиция Б).

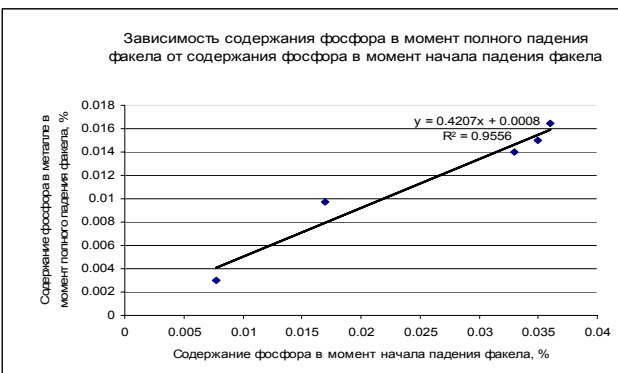


Рис.5. Зависимость содержания фосфора в металле при полном падении факела от содержания фосфора в металле в момент начала падения факела (позиция В).

Зависимости, полученные по параметру содержания фосфора в металле, могут быть использованы при разработке математических моделей для заключительных этапов конвертерной плавки, а также при разработке систем взаимодействия между входными и выходными параметрами в матричной форме.

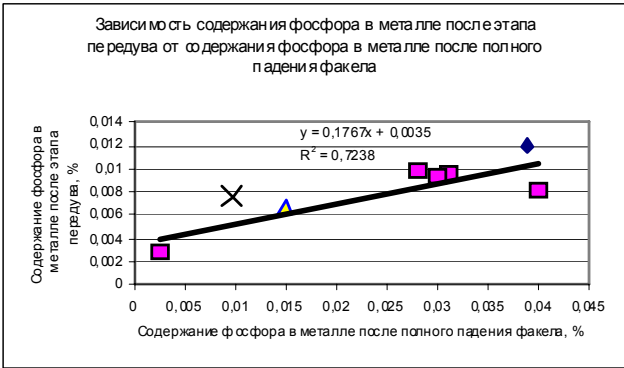


Рис.6. Зависимость содержания фосфора в металле после этапа передувки от содержания фосфора в металле после полного падения факела (позиция Г). Длительность передувки 1,5 – 3,0 мин.

При проведении опытных плавки использовали чугуны с низким содержанием серы – 0,0020–0,0093%. Динамика изменения концентрации серы в металле на заключительных этапах плавки представлена на рис.7.

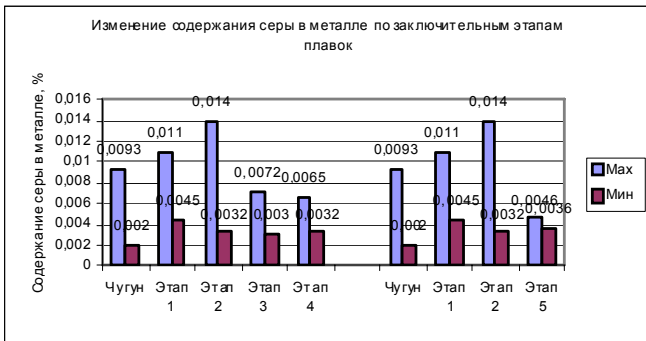


Рис.7. Изменение содержания серы в металле по заключительным этапам плавки.

В начале падения факела содержание серы в металле выше, чем в исходном чугуне (0,0045–0,0110 % против 0,0020–0,0093%). В период падения факела среднее содержание серы продолжает увеличиваться и при полном исчезновении факела находится в пределах 0,0032–0,0140%. В процессе передувки и продувки (промывки) металла нейтральным газом через донные фурмы без подачи кислорода сверху содержание серы в металле снижается до 0,0030–0,0072%. Такая динамика является характерной для конвертерного передела чугуна после его обработки на установках десульфурации чугуна (УДЧ) [3, 4].

В условиях эксперимента было низкое содержание серы в чугуне, и сера вносилась дополнительно в конвертерную ванну с металлоломом и известью. Содержание серы в используемой партии извести составляло 0,049%. Расход извести на опытных плавках был постоянным и составлял 100 кг на плавку. Таким образом, можно считать постоянным и количество серы, которое вносилось с известью. Расход лома на большинстве плавки составлял 75 кг. На некоторых плавках он снижался до 40 кг или увеличивался до 100 кг. Лом

состоял из разрезанных колесной выжимки и железнодорожных колес, обрезки толстого листа и труб. Максимальное содержание серы в таком металлоломе не превышает 0,050%, а изменение расхода находилось в пределах $\pm(25-35)$ кг. Проведенный специальный анализ показал, что зависимость содержания серы в металле от расхода лома не проявляется. Исходя из этого было принято допущение, что количество серы, вносимое с известью и ломом, является величиной постоянной, и, таким образом, динамика изменения содержания серы в металле достаточно полно может проявиться от содержания серы в чугуна.

Для оценки взаимосвязей определили следующие зависимости выходных параметров от входных:

А) зависимость содержания серы в металле на этапе начала падения факела от содержания серы в чугуна;

Б) зависимость содержания серы в металле на этапе полного падения факела от содержания серы в чугуна;

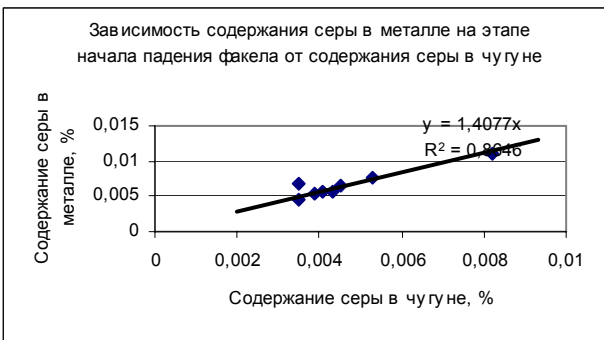
В) зависимость содержания серы в металле при полном падении факела от содержания серы в металле в начале падения факела;

Г) зависимость содержания серы в металле после этапа передувки от содержания серы в металле после полного падения факела.

Полученные зависимости по содержанию серы соответственно по позициям А,Б,В,Г представлены на рис.8–11.

Установлено, что по всем проанализированным позициям значения выходных величин находятся в прямой зависимости от входных.

Результатом анализа полученных зависимостей является ряд следующих положений. Содержание серы в металле на этапе начала и полного падения факела выше, чем содержание серы в чугуна (рис.8 и 9). Содержание серы в металле, как выходного параметра, получено ниже, чем входного, на этапе полного падения факела (рис.10) и после передувки (рис.11). Однако, более низкого содержания серы, чем минимального в чугуна (0,002%), в металле получено не было. Связано это с низким содержанием серы в чугуна экспериментальных плавок (0,0020–0,0093%) и итоговым распределением серы в системе шлак–металл с учетом поступления в систему серы с другими, кроме чугуна, шихтовыми материалами. Следует отметить, что для «чистых» сталей



минимальное содержание серы допускается на уровне 0,001%.

Рис.8. Зависимость содержания серы в металле на этапе начала падения факела от содержания серы в чугуна (позиция А).

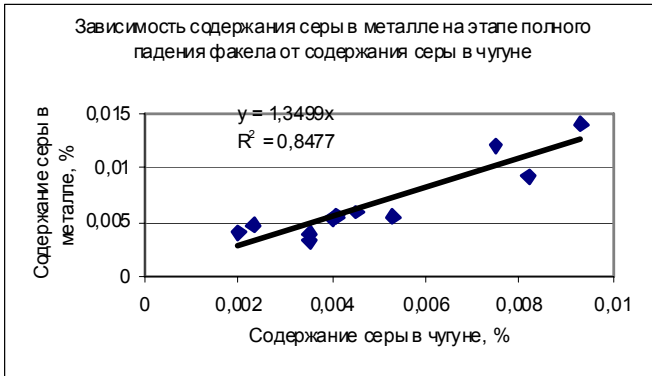


Рис.9. Зависимость содержания серы в металле на этапе полного падения факела от содержания серы в чугунае (позиция Б).

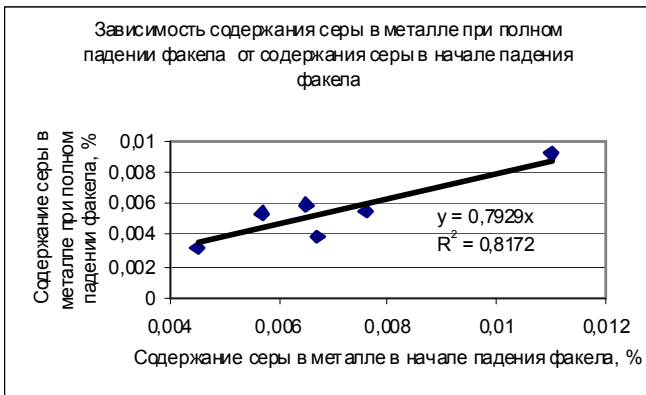


Рис.10. Зависимость содержания серы в металле при полном падении факела от содержания серы в начале падения факела (позиция В).

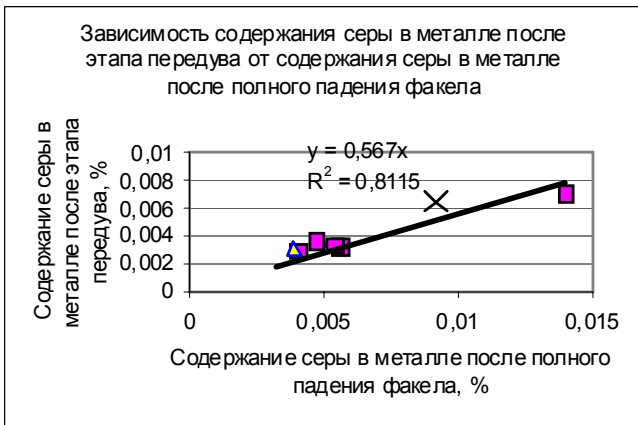


Рис.11. Зависимость содержания серы в металле после этапа передувa от содержания серы в металле после полного падения факела (позиция Г).
Длительность передувa 1,5 – 3,0 мин.

Заключение. Таким образом, выявленные в работе закономерности показывают, что при постоянном количестве фосфора и серы, вносимых с известью и ломом, динамика изменения содержания серы в металле зави-

сит от содержания серы в чугуне. В процессе передуву и промывки металла нейтральным газом через донные фурмы без подачи кислорода сверху содержание серы в металле снижается до 0,0032–0,0065%. Минимальное содержание фосфора, достигнутое на этапе полного падения факела, уже не снижается на этапе передуву. Полученные зависимости могут быть использованы при разработке математических моделей для заключительных этапов конвертерной плавки, а также при разработке систем взаимодействия между входными и выходными параметрами в матричной форме.

1. *Технология* производства стали в современных конвертерных цехах / под ред. С.В. Колпакова. – М.: «Машиностроение», 1991. – 461 с.
2. *Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С.* Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія. Підручник. – Дніпропетровськ; «Дніпро–Вал», 2004. – 454 с.
3. *Десульфурация* металла в технологическом комплексе «УДЧ– конвертер» / А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, В.Ф. Поляков и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Сб. научн. тр. ИЧМ. – Вып. 14. – 2007. – С. 112–119.
4. *Десульфурация* металла в технологическом комплексе «УДЧ– конвертер –КП» / А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, В.Ф. Поляков и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Сб. научн. тр. ИЧМ. – Вып. 15. – 2007. – С. 99–110.

*Статья рекомендована к печати:
заместитель ответственного редактора
раздела «Сталеплавильное производство»
докт. техн. наук, проф. Э.В. Приходько
рецензент канд. техн. наук В.П. Пиптюк*

В.П. Корченко, Л.Г. Тубольцев, В.Ф. Поляков, Н.І. Падун, А.М. Шевченко
Закономірності дефосфорації і десульфурції на завершальних етапах киснево–конвертерної плавки з комбінованим продуванням

Метою дослідження є вивчення закономірностей поведінки фосфору і сірки в процесі киснево–конвертерної плавки. Досліджено технологічні можливості завершальних етапів киснево–конвертерного процесу з комбінованим продуванням для забезпечення ключових параметрів, що визначають умови виплавки металу з низьким вмістом фосфору і сірки. Показано, що при постійній кількості фосфору і сірки, що вносяться з вапном і ломом, зміна вмісту сірки в металі залежить від вмісту сірки в чавуні. Мінімальний вміст фосфору після повного падіння факела на етапі передуву вже не знижується. В процесі передуву та промивки металу нейтральним газом через донні фурми без подачі кисню зверху вміст сірки в металі знижується до 0,0030–0,0072%.