

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

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОКИСЛЕНИЯ КРЕМНИЯ И МАРГАНЦА НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ ЭТАПАХ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ С КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОДУВКОЙ

Целью работы является исследование особенностей заключительных этапов кислородно-конвертерной плавки с комбинированной продувкой для получения металла с низким и сверхнизким содержанием примесей. Показано, что на заключительных этапах плавки достигаются низкие и сверхнизкие содержания углерода, кремния, марганца, снижается и стабилизируется содержание кислорода в металле. Полученные количественные значения показателей могут быть использованы для оценки качества металла и технико-экономических показателей процесса выплавки металла с низким содержанием кремния и марганца.

кислородно-конвертерная плавка, комбинированная продувка, заключительные этапы плавки, качество металла, кремний и марганец

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 по обеспечению минимального содержания примесей 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 других примесей 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 передуха;
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. является 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 передуха после полного падения факела и периода продувки нейтральным газом задавали в соответствии с планом проведения эксперимента: 1-3 минуты для периода передуха и 2-3 минуты для периода продувки нейтральным газом.

Основой 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

этапах конвертерной плавки достигаются наиболее низкие содержания углерода особенно на этапе промывки металла нейтральным газом (порядка 0,01%). Установлено, что зависимость концентрации углерода от времени (от расхода кислорода) достаточно точно отражается обратной функцией типа $y=k/x$.

В принципе, взаимосвязи химсостава металла по содержанию кремния и марганца по ходу кислородно-конвертерной плавки изучены достаточно полно и отражены в разной форме во многих статьях, монографиях, учебниках, кроме конечных этапов, на которых достигаются наиболее низкие значения этих компонентов, требуемые для «чистых» сталей.

Взаимосвязи по содержанию кремния подробно в литературе не отражались. Отмечалось, что кремний, например, снижается практически до нуля в начале продувки. Однако, определенная концентрация кремния в металле, естественно, сохраняется в течение всей продувки (рис.2) [3].

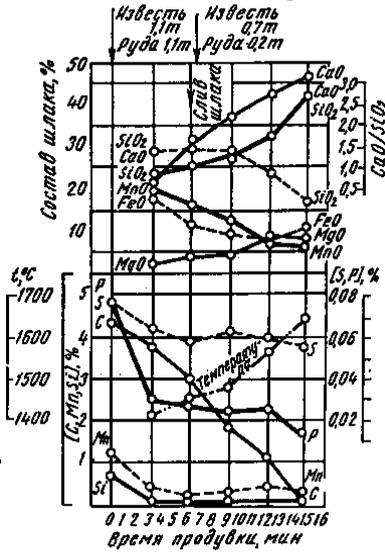


Рис.2. Изменение состава металла и шлака по ходу продувки в 25-тонном конвертере [3].

Вероятнее всего, что в период активного изучения нового кислородно-конвертерного процесса низкие содержания кремния не имели практического значения. С развитием производства «чистых» сталей внимание к минимальной концентрации возросло, отсюда возрос и интерес к взаимосвязям по содержанию кремния в металле.

Изменение содержания кремния по заключительным этапам плавок представлено на рис.3.



Рис.3. Изменение содержания кремния в металле по заключительным этапам плавок. Содержание кремния в чугуне – 0,48-0,83%.

Содержание кремния в металле к началу исследуемых этапов (к началу падения факела), составляющее 0,48–0,83%, за период продувки снизилось до 0,0068-0,0120%. Минимальное значение из всей исследованной

совокупности отобранных проб достигнуто в период передуга после полного падения факела и составляет 0,0055%. Значения содержания кремния, достигнутые в период полного падения факела и передуга после полного падения факела, на этапе продувки нейтральным газом не уменьшаются. Напротив, в некоторых случаях отмечается тенденция увеличения, но в тысячном знаке.

Для оценки взаимосвязей определили следующие зависимости выходных параметров от входных:

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

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

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

Г) зависимость содержания кремния в металле после этапа передуга от содержания кремния в металле после полного падения факела.

Полученные взаимосвязи по содержанию кремния соответственно по позициям А,Б,В,Г представлены на рис.4-7.

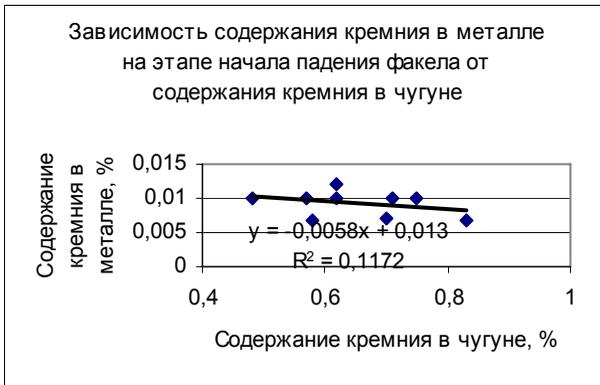


Рис.4. Зависимость содержания кремния в металле на этапе начала падения факела от содержания кремния в чугуна (позиция А).

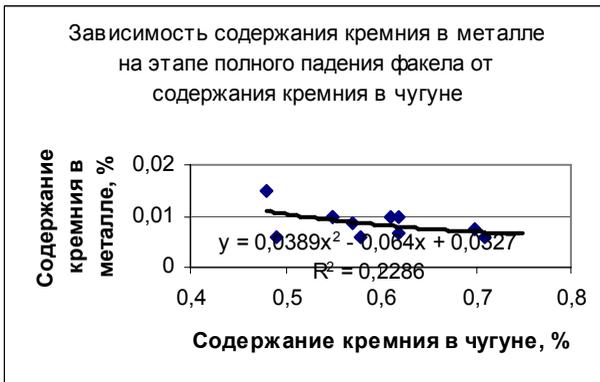


Рис.5. Зависимость содержания кремния в металле на этапе полного падения факела от содержания кремния в чугуна (позиция Б).

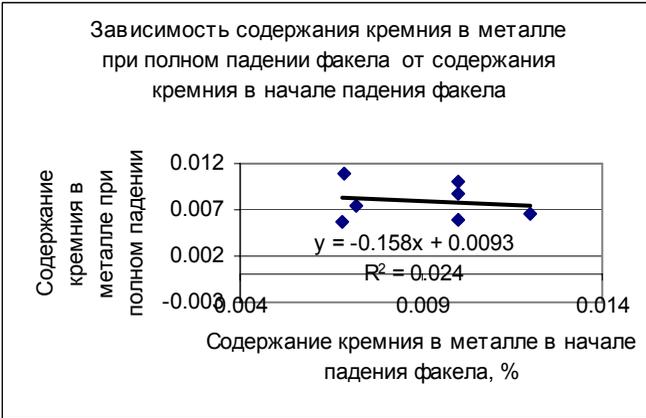


Рис.6. Зависимость содержания кремния в металле при полном падении факела от содержания кремния в начале падения факела (позиция В).

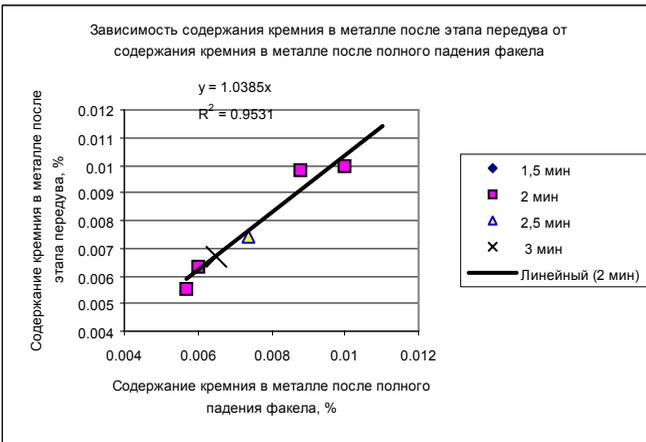


Рис.7. Зависимость содержания кремния в металле после этапа передуга от содержания кремния в металле после полного падения факела (позиция плана Г). Длительность передуга 1,5 – 3,0 мин.

Математическая обработка данных показывает отсутствие зависимостей по позициям А,Б,В (рис.4-6), однако отмечается тенденция обратной связи значений выходных величин от входных. В позиции Г положение изменяется, и содержание кремния в металле после этапа передуга находится в прямой зависимости от содержания кремния в металле после полного падения факела (рис.7). Причина изменения характера взаимосвязи, скорее всего, заключается в значительном повышении температуры металла в период передуга и в изменении, вследствие этого, соотношения значений термодинамических потенциалов образования CO и SiO_2 .

Значимость полученных результатов заключается в том, что определены закономерности обескремнивания металла на конечных этапах конвертерной плавки, а также направления по обеспечению минимального

содержания кремния, которое для части сортамента «чистых» сталей составляет порядка 0,01%.

К началу падения факела содержание марганца снижается от исходного в чугуна 0,42–0,74% до 0,090–0,310% (рис.8). К моменту полного падения факела нижний предел концентрации марганца уменьшается с 0,090 до 0,031%, а верхний – с 0,310– до 0,270%. На этапе передувки нижний предел концентрации марганца изменяется незначительно – с 0,031 до 0,024%, а верхний более чем в 2 раза – с 0,270 до 0,123%. На рис.8 приведены данные в укрупненном плане, в основном, для общей оценки вероятных концентраций марганца на конечных этапах технологии с комбинированной продувкой. Для более точной оценки изменения концентраций марганца в периоды продувки нейтральным газом провели дополнительный поплавоочный анализ. Определено, что при продувке нейтральным газом после полного падения факела содержание марганца несколько снижается – до 0,009–0,030%. Такая же тенденция и при продувке нейтральным газом после передувки, только величина снижения концентрации марганца уменьшается и составляет 0,003–0,015%.



Рис.8. Изменение содержания марганца в металле по заключительным этапам плавки.

Для оценки взаимосвязей (аналогично параметру по содержанию кремния в металле) определили следующие зависимости выходных параметров от входных:

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

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

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

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

Полученные зависимости по содержанию марганца соответственно по позициям А,Б,В,Г представлены на рис.9-12.

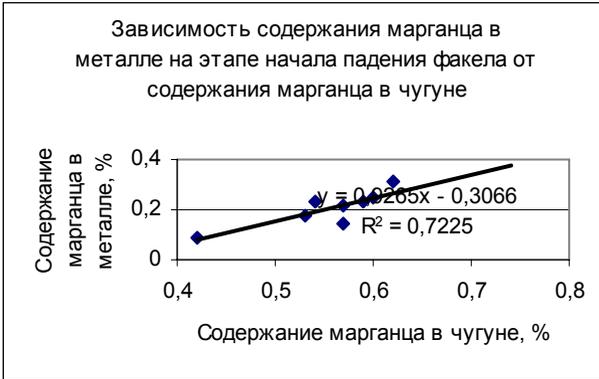


Рис.9. Зависимость содержания марганца в металле на этапе начала падения факела от содержания марганца в чугуне (позиция А).

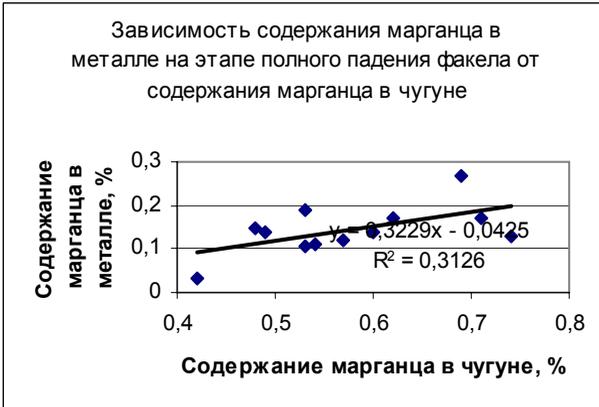


Рис.10. Зависимость содержания марганца в металле на этапе полного падения факела от содержания марганца в чугуне (позиция Б).

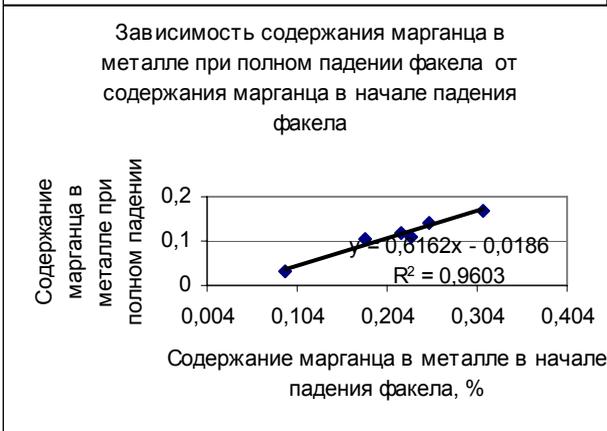


Рис.11. Зависимость содержания марганца в металле при полном падении факела от содержания марганца в начале падения факела (позиция В).

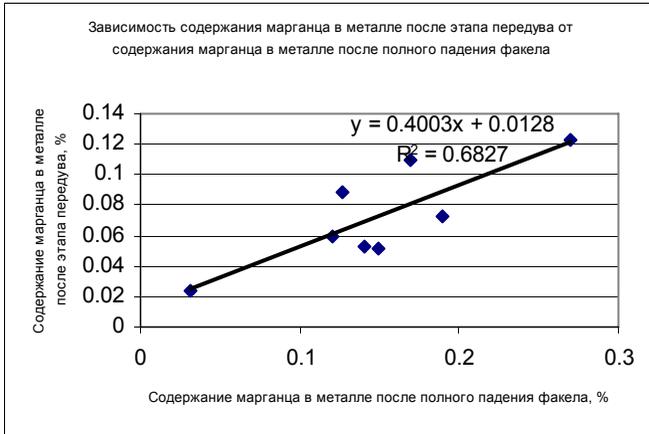


Рис. 12. Зависимость содержания марганца в металле после этапа передувки от содержания марганца в металле после полного падения факела (позиция Г).

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

В связи с высокой окисленностью шлака на конечных этапах, содержание марганца в металле к концу конвертерной плавки снижается. Уже на стадии падения факела (позиция А рис.9) содержание марганца достигает минимальных значений, требуемых для «чистых» сталей (менее 0,2%). Полученные взаимосвязи представляют интерес с позиций решения вопроса экономии марганецсодержащих материалов, а также вопросов оптимизации возможностей конечных этапов плавки в обеспечении требуемого химсостава жидкого металла.

Выводы. В результате проведенного исследования определена динамика изменения содержания кремния и марганца в металле на заключительных этапах процесса кислородно-конвертерной плавки с комбинированной продувкой. Оценена роль конечных технологических этапов от падения факела до продувки нейтральным газом без подачи кислорода в решении вопросов обеспечения требуемого химического состава жидкого металла.

Заключительные этапы, по сравнению с длительностью продувки до начала падения факела, кратковременны, но они характеризуются значительными изменениями ряда важных технологических показателей. Именно на этих этапах достигаются низкие и сверхнизкие содержания углерода, кремния, марганца, фосфора и серы, снижается и стабилизируется содержание кислорода в металле. Все эти параметры определяют качество металла как по содержанию вредных примесей, так и по неметаллическим включениям. На заключительных этапах кислородно-конвертерной плавки с комбинированной продувкой и последующей промывкой металла нейтральным газом только через донные фурмы решается комплекс вопросов получения стали высокого качества, в том числе стали

со специальными свойствами и так называемых «чистых» сталей. Полученные количественные значения показателей могут быть использованы для оценки качества металла, в первую очередь по содержанию элементов, и технико-экономических показателей процесса.

1. *Технология* производства стали в современных конвертерных цехах / под ред. С.В.Колпакова. – М.: «Машиностроение», 1991. – 461с.
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. – 454с.
3. *Явойский В.И.* Теория процессов производства стали // М.:«Металлургия», 1967. – 792с.

*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 окислення кремнію і марганцю на завершальних етапах киснево-конвертерної плавки з комбінованим продуванням

Метою роботи є дослідження особливостей завершальних етапів киснево-конвертерної плавки з комбінованим продуванням для отримання металу з низьким і наднизьким вмістом домішок. Показано, що на завершальних етапах плавки досягається низький і наднизький вміст вуглецю, кремнію, марганцю, знижується і стабілізується вміст кисню в металі. Набуто кількісних значень показників процесу, що можуть бути використані для оцінки якості металу і техніко-економічних показників процесу виплавки металу з низьким вмістом кремнію і марганцю.