

УДК 669.18.046.5

к.т.н. Романчук А.Н.,  
Романчук Я.А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДУВА КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ НА СОСТАВ МЕТАЛЛА И ШЛАКА И ЭКОНОМИКУ ПРОЦЕССА

*Приведены результаты экспериментальных исследований, получены зависимости, характеризующие заключительный этап продувки конвертерной плавки при производстве низкоуглеродистых марок сталей. Получены зависимости, описывающие динамику изменения химического состава конвертерной ванны при содержании углерода 0,08 - 0,02%.*

**Ключевые слова:** конвертер, углерод, металл, шлак, передув, окисленность, кислород, себестоимость.

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

В настоящее время перед всеми конвертерными цехами остро стоит проблема глубокого обезуглероживания конвертерной ванны. Главной объективной причиной этого является высокий (с тенденцией увеличения) процент выплавки низкоуглеродистых марок сталей. Содержание остаточного углерода в металле в пределах 0,03-0,05% делает невозможным завершение конвертерной плавки без существенного переокисления конвертерной ванны. Поэтому процессы дополнительного окисления Fe, Mn и растворения кислорода в металле, протекающие параллельно с глубоким обезуглероживанием и их влияние на экономику конвертерного процесса, представляют научный и практический интерес. Анализ отечественных и зарубежных исследований и разработок показывает, что большое внимание уделяется вопросам совершенствования технологии выплавки низкоуглеродистых сталей на завершающем этапе продувки металла кислородом. В работах [1-2] приведены теоретические и практические исследования динамики изменения химического состава конвертерной ванны в процессе продувки, в частности при достижении 1-й и 2-й критических концентраций углерода в металле. Вместе с тем изменение химического состава

металла и шлака при содержании углерода 0,08-0,02% изучено недостаточно.

Известно, что транспорт является крупнейшим потребителем стали, в основном листовой. Автолистовые стали, особенно предназначенные для штамповки деталей, относятся к сталям с содержанием примесей на минимально возможном уровне.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является исследование влияния глубокого обезуглероживания металла на динамику изменения химического состава металла и шлака и экономику конвертерной плавки.

**Изложение материала и его результаты.** Сталеплавильный комплекс ПАО «АМК» включает два конвертера комбинированного дутья емкостью по 300 т, двухпозиционную установку «ковш - печь» (УКП) и две слябовые МНЛЗ общей производительностью 5,0 млн. т заготовок в год.

Математическому анализу подвергнута опытно-промышленная партия плавов (315 плавов), которые были проведены без додувок и промежуточного скачивания шлака по ходу продувки.

Чугун поставляли в ковшах миксерного типа и заливали в конвертер после предварительной десульфурации, обеспечивая снижение содержания серы в чугуне до ее содержания в готовой стали.

## МЕТАЛЛУРГИЯ

Таблица 1 – Средний расход шихтовых материалов и кислорода для групп плавков с различным содержанием остаточного углерода

Параметры	Содержание углерода, %			
	≥0,08	0,06 – 0,07	0,04 – 0,05	0,02 – 0,03
1	2	3	4	5
Количество плавков	24	41	171	79
Выход годного, %	91,098	90,929	90,587	90,437
Изменение себестоимости грн./т	—	+7,42	+31,27	+51,67
Масса плавки, т	301,613	300,388	299,004	298,190
Расход металлической шихты, т	331,090	330,346	330,115	329,739
в том числе: чугуна, т	267,083	262,863	260,171	256,896
лома стального, т	64,006	67,483	69,944	72,843
известки, т	22,840	22,102	21,345	20,571
Хим. состав чугуна, % [C] <sub>чуг</sub>	4,432	4,409	4,355	4,330
[Si] <sub>чуг</sub>	0,714	0,740	0,656	0,624
[Mn] <sub>чуг</sub>	0,282	0,259	0,264	0,226
[S] <sub>чуг</sub>	0,013	0,013	0,010	0,008
Средний расход кислорода, м <sup>3</sup> /пл	15388	15346	15426	15738
Температура металла, °С	1645	1648	1640	1652
Основность конечного шлака	2,91	2,93	2,84	2,62
Масса шлака, т	36	36,4	37,8	39,5

Для подачи кислорода использовали пятиисопловую кислородную фурму. Интенсивность продувки составляла 1050-1200 м<sup>3</sup>/мин.

Пробы металла и шлака отбирали зондом по ходу продувки, либо при повалках конвертера. При отборе проб осуществляли измерение температуры и окисленности металла.

С целью анализа влияния глубокого обезуглероживания металла на состав конвертерной ванны и экономику процесса, опытно промышленная партия плавков была подразделена на четыре группы по ос-

таточному содержанию углерода в металле перед выпуском плавки.

Измерение окисленности конвертерной ванны производили при выпуске плавки из конвертера.

Для этой цели использовали прибор Celox с измерительным устройством Multi-Lab. В соответствии с технологической инструкцией конвертерного цеха при производстве марок стали с содержанием углерода 0,05% и менее, уменьшают перекисленность металла, вводя рекомендуемое количество алюминия согласно таблице 2.

## МЕТАЛЛУРГИЯ

Таблица 2 – Расход алюминия в зависимости от окисленности металла

Окисленность, ppm	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Расход алюминия, кг/плавку	210	250	295	335	380	420	460	500

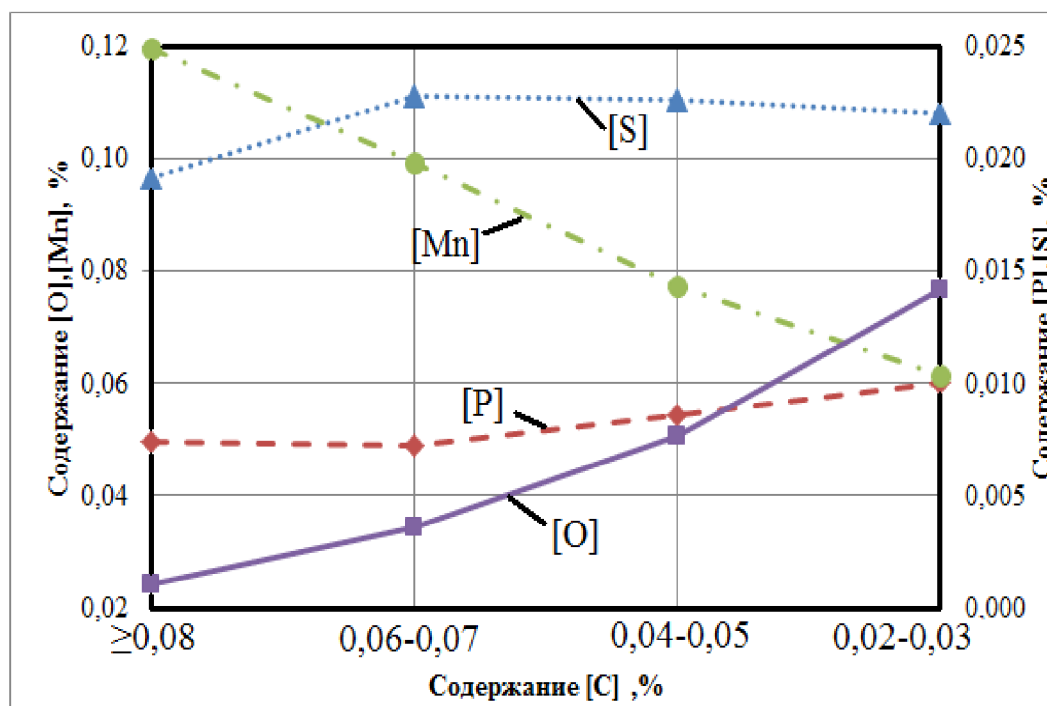


Рисунок 1 – Динамика изменения химического состава металла с уменьшением остаточного содержания углерода в металле

Как следует из рисунка 1, во всем диапазоне характерных для конца конвертертной плавки концентраций углерода 0,08–0,02%, содержание кислорода, растворенного в металле, существенно растет.

Известно, что в конце продувки конвертертной ванны, с уменьшением содержания углерода в металле, все большая часть вдуваемого кислорода поступает в шлак в виде оксидов железа. Это вызывает разбавление шлака по (MnO), уменьшение его активности и увеличение активности оксидов железа, что снижает фактическую концентрацию марганца в металле.

Если при содержании [C]  $\geq 0,08\%$  содержание марганца составляет 0,12%, то при [C] равном 0,02 – 0,03% оно составит 0,07%. Столь низкое содержание остаточного [Mn] ведет к увеличению расхода

марганцесодержащих ферросплавов и повышению её себестоимости.

При концентрациях углерода менее критической величины, поступление углерода в зону взаимодействия с кислородом недостаточно для усвоения всего вдуваемого кислорода. В результате скорость окисления углерода уменьшается и, соответственно, содержание растворенного кислорода в конвертертной ванне растет.

Когда коэффициент усвоения кислорода конвертертной ванны превышает коэффициент усвоения кислорода углеродом, избыток кислорода в виде оксидов железа и марганца поступает в шлак, что также способствует насыщению металла кислородом.

Динамика изменения химического состава конечного конвертертного шлака для групп с различным содержанием углерода в металле показана на рисунке 2.

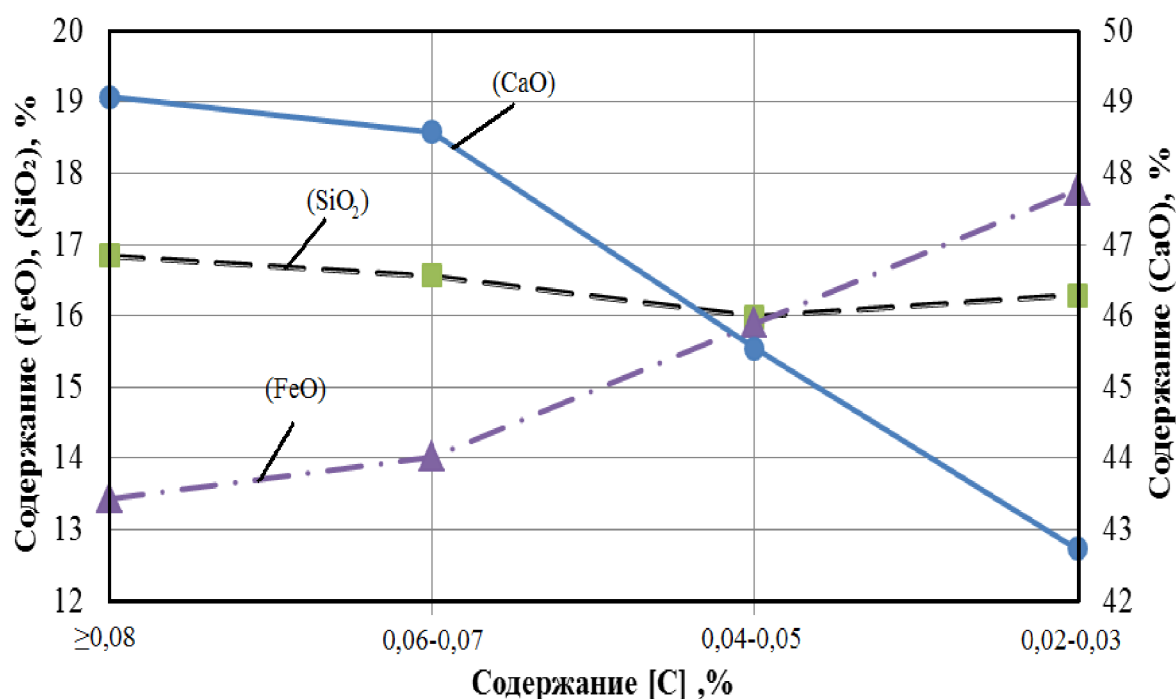


Рисунок 2 – Динамика изменения химического состава конечного конвертерного шлака для групп с различным содержанием углерода в металле

В соответствии с технологической инструкцией конвертерного цеха при производстве марок стали с содержанием углерода 0,05% и менее, уменьшают переокисленность металла, вводя рекомендуемое количество алюминия.

Как следует из рисунка 2, в конце конвертерной плавки содержание оксидов железа в конечном шлаке зависит от концентрации углерода в металле. Зависимость существенно возрастает при  $[C]=0,05\%$  и менее. При докритических (ниже 0,10%) концентрациях углерода лимитирующим звеном процесса обезуглероживания является массоперенос углерода из объема металла к реакционной зоне, что в процессе протекания реакции глубокого обезуглероживания сопровожда-

ется интенсивным растворением кислорода в металле и взаимодействием его с железом.

Резкое возрастание (FeO) приводит к снижению концентрации остальных компонентов шлака, в особенности содержания (CaO), что ведет к снижению основности конечного шлака (таблица 3).

Полученные экспериментальные данные позволяют рассчитать долю кислорода, расходуемую на окисление углерода, железа, марганца и повышение окисленности металла. С учетом затрат кислорода на испарение железа, которое по данным [3] составляет 5%, расход кислорода на удаление 0,01% углерода в 300 т конвертере в интервале с 0,10-0,02% углерода приведен в таблице 3.

## МЕТАЛЛУРГИЯ

Таблица 3 – Расход кислорода и его доля на удаление 0,01% углерода в 300 т конвертере в интервале с 0,10-0,02% углерода

[C]	CO/CO <sub>2</sub>		MnO		FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		[O] <sub>ме</sub>		ΣO
	м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>	%	
0,09	30,52	55,21	4,06	7,48	14,59	26,86	5,42	9,93	54,59
0,08	30,75	51,66	4,65	7,81	17,70	29,75	6,77	11,31	59,88
0,07	31,01	34,20	5,23	5,77	46,17	50,92	8,71	9,56	91,12
0,06	31,29	25,15	5,82	4,68	76,31	61,33	11,61	9,29	125,04
0,05	31,61	19,48	6,4	3,95	108,86	67,06	16,26	9,97	163,13
0,04	31,95	15,42	6,99	3,37	145,13	70,05	24,39	11,70	208,46
0,03	32,32	12,14	7,58	2,85	187,86	70,56	40,65	15,14	268,40
0,02	32,71	9,04	8,16	2,26	244,01	67,43	81,30	22,20	366,18

**Выводы и направление дальнейших исследований.**

1. Рассмотрена технология получения низкоуглеродистых марок стали в условиях конвертерного цеха ПАО «АМК».

2. Проведена обработка статистических данных работы конвертерного цеха по получению низкоуглеродистых марок стали.

3. Состав металла при глубоком обезуглероживании конвертерной ванны характеризуется нарастающим переокислением металла, снижением содержания остаточного марганца в металле и ухудшением условий для десульфурации и дефосфорации расплава.

4. Установлено, что при снижении остаточного содержания углерода в металле (с 0,08 до 0,025%) содержание марганца в ме-

талле существенно снижается, а сера и фосфор при этом практически не удаляются.

5. При глубоком обезуглероживании металла значительно увеличивается содержание оксидов железа в шлаке и масса шлака, что подтверждается снижением содержания SiO<sub>2</sub> в шлаке.

6. Необходимый передув металла при производстве низкоуглеродистых марок стали ведет к уменьшению выхода годного, способствует увеличению износа футеровки, повышению расхода марганцесодержащих материалов.

7. Рекомендуется заканчивать процесс обезуглероживания металла в конвертерах при содержании углерода в металле не менее 0,08%, с последующим обезуглероживанием расплава вне конвертера за счет аргоно-кислородной продувки.

**Библиографический список**

1. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали : учебник для вузов / В. А. Кудрин. — М. : «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. — 528 с.
2. Поживанов М. А. Выплавка стали для автолиста / М. А. Поживанов, Е. Х. Шахпазов, А. Г. Свяжгин. — М. : Интерконтакт Наука, 2006. — 166 с.
3. Бойченко Б. М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология : учебник / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин. — Днепропетровск : «Днепр-Вал», 2004. — 454 с.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. ДонГТУ Ульяницким В.Н.,  
начальником ЦЛК ПАО «АМК» Сбитневым С.А.*

*Статья поступила в редакцию 20.11.15.*

**к.т.н. Романчук О.М., Романчук Я.О.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**ВПЛИВ ПЕРЕДУВУ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ НА СКЛАД МЕТАЛУ І ШЛАКУ ТА  
ЭКОНОМІКУ ПРОЦЕСУ**

*Наведені результати експериментальних досліджень, отримані залежності, які характеризують заключний етап продування конвертерної плавки при виробництві низьковуглецевих марок сталей. Отримані залежності, які описують динаміку зміни хімічного складу конвертерної ванни при вмісті вуглецю 0,08- 0,02%.*

**Ключові слова:** *конвертер, вуглець, метал, шлак, передув, окисленість, кисень, собівартість.*

**PhD in Engineering Romanchuk A.N., Romanchuk Ya.A.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**INFLUENCE OF CONVERTER STEEL AFTER-BLOWING ON METAL AND SINTER  
COMPOSITION, AND PROCESS ECONOMICS**

*The research results have been given; dependences that describe a final blowing stage in converter for low carbon steel production have been obtained. The change dynamics of chemical composition of converter bath with carbon content 0,08 to 0,02% has been analyzed in this paper.*

**Key words:** *converter, carbon, metal, sinter, after-blowing, oxidation, oxygen, cost value.*