

УДК 669.184.14

Завалишина А.Н., Столяров А.М., Потапов И.М., Юдин Д.В., Чернов В.П.

## О ВЫХОДЕ ГОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

**Аннотация.** В проектируемом кислородно-конвертерном цехе Магнитогорского металлургического комбината выплавка стали в кислородных конвертерах вместимостью 370 т должна была осуществляться с комбинированной продувкой металла: сверху – кислородом, снизу – нейтральными газами. Однако в течение вот уже более тридцати лет в цехе применяется только верхняя продувка кислородом. Комбинированная продувка имеет целый ряд преимуществ перед верхней продувкой, которые позволяют повысить как качество, так и выход годного производимого металла.

В работе проанализированы два массива данных, полученных при производстве низкоуглеродистой конвертерной стали марки 08Ю в конвертерах вместимостью 370 и 350 т соответственно с верхней и комбинированной продувкой, реализованной на разных предприятиях. Технология ковшевой обработки и непрерывной разливки металла не имели существенного различия. При комбинированной продувке металла в конвертере вследствие интенсивного перемешивания расплава инертными газами, подаваемыми через донные блоки, окисленность металла снижается в среднем с 1179 до 649 ppm — в 1,8 раза. Установлена криволинейная убывающая зависимость окисленности металла при комбинированной продувке от содержания углерода в расплаве перед выпуском из конвертера. С увеличением окисленности металла возрастают потери железа и выход годных слэбов снижается. Переход от верхней к комбинированной продувке позволяет увеличить выход годных слэбов в среднем с 87,6 до 89,6 % — на оцененную с вероятностью 99 % величину, равную 2 % (абс.).

Рекомендуется осуществить модернизацию оборудования для внедрения в ККЦ ПАО «ММК» запланированной еще при проектировании цеха технологии комбинированной продувки металла в кислородных конвертерах.

**Ключевые слова:** сталь, конвертер, способ продувки, производство, выход годного

В проектируемом кислородно-конвертерном цехе Магнитогорского металлургического комбината выплавка стали в кислородных конвертерах вместимостью 370 т должна была осуществляться с комбинированной продувкой металла: сверху – кислородом, снизу – нейтральными газами. Однако в течение вот уже более тридцати лет в цехе применяется только верхняя продувка кислородом. Известно [1–5], что комбинированная продувка имеет целый ряд преимуществ перед верхней продувкой, которые позволяют повысить как качество, так и выход годного производимого металла. В настоящей работе произведен сравнительный анализ оценки влияния способа подачи дутья в конвертер на выход годного металла. Для этого рассмотрено производство низкоуглеродистой стали в ККЦ ПАО «ММК» и в ККЦ другого металлургического предприятия с конвертерами вместимостью 350 т и комбинированной продувкой. После выпуска металла из конвертеров технологическая схема производства в данных цехах была схожей: обработка на агрегате «печь-ковш», вакуумная обработка или без нее, разливка стали на двухручьевого МНЛЗ криволинейного типа [6, 7]. Выход годного металла определялся как отношение массы отлитых слэбов к массе металлической шихты в конвертере, выраженное в процентах.

Массивы производственных данных с верхней продувкой (массив А) и комбинированной продувкой (массив Б) имели следующую характеристику (усредненные данные в табл. 1).

Сравнение приведенных в таблице данных свидетельствует о том, что удельная интенсивность продувки металла кислородом сверху была выше для мас-

сива А, а при продувке снизу для массива Б использовались азот и аргон. Усредненный химический состав металла обоих массивов был примерно одинаковым и соответствовал требованиям к стали марки 08Ю.

Таблица 1

## Характеристика массивов

Параметр	Массив	
	А	Б
Количество плавок, шт.	93	49
Масса металлической шихты, т	396	408
Доля жидкого чугуна, %	79,1	78,6
Удельная интенсивность продувки кислородом, м <sup>3</sup> /(т · мин)	2,90	2,78
Расход азота на продувку, м <sup>3</sup>	—	133
Расход аргона на продувку, м <sup>3</sup>	—	349
Содержание в металле перед выпуском из конвертера, %:		
C	0,043	0,047
Si	0,002	0,008
Mn	0,120	0,175
S	0,013	0,011
P	0,006	0,009
Cr	0,019	0,030
Ni	0,016	0,020
Cu	0,039	0,024
N	0,004	0,004
Al	0,040	0,036

Однако содержание растворенного в металле кислорода (окисленность металла) оказалось существенно различающимся (рис. 1).

При комбинированной продувке металла в конвертере вследствие интенсивного перемешивания расплава инертными газами, подаваемыми через донные блоки, окисленность металла снижается в среднем с 1179 до 649 ppm — в 1,8 раза.



Рис. 1. Информация об окисленности металла перед выпуском из конвертера с разными вариантами продувки

В работе оценено влияние на окисленность металла при разных способах продувки в конвертере различных параметров: массы металлической шихты, доли жидкого чугуна в шихте, удельной интенсивности продувки кислородом, расхода инертных газов, содержания углерода в металле. Выявлена только криволинейная убывающая зависимость содержания растворенного в металле кислорода ( $[O]$ , ppm) при комбинированной продувке от содержания углерода ( $[C]$ , %)

$$[O] = 30,057 / [C]^{0,911} \quad \eta = -0,681,$$

представленная на рис. 2.

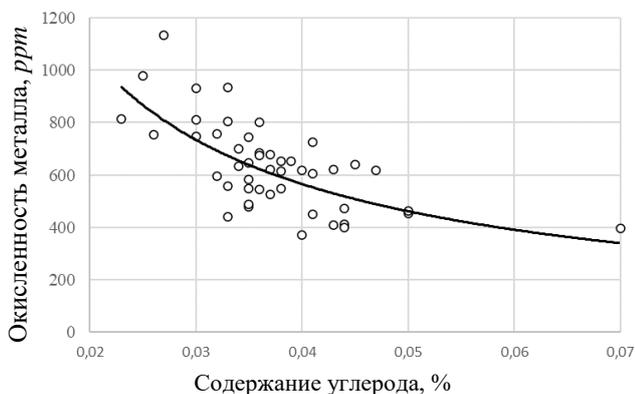


Рис. 2. Зависимость окисленности металла перед выпуском из конвертера от содержания углерода при комбинированной продувке

С увеличением окисленности металла возрастают потери железа и выход годных слэбов снижается, что видно из рис. 3 для условий верхней продувки. При росте окисленности металла с уровня менее 1000 ppm до величин выше 1200 ppm выход годных слэбов уменьшается от 88,0 до 87,3 %.

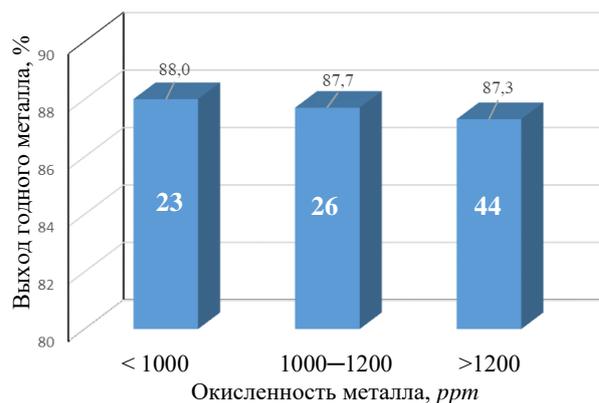


Рис. 3. Данные о выходе годных слэбов при разной окисленности металла в конвертере с верхней продувкой (цифры внутри столбиков – количество плавок)

На рис. 4 представлены данные о влиянии способа продувки металла в конвертере на выход годного металла. Диапазон изменения выхода годного металла при верхней продувке составляет 28,3%, что в 2,8 раза больше, чем при комбинированной продувке (10,2%). Средние значения различаются на 2% (абс.). Оценка случайности или неслучайности такого различия произведена путем проверки нулевых гипотез при сравнении дисперсий и средних значений двух выборок.

Результаты этой оценки приведены в табл. 2.

Расчетные значения критериев  $F$  и  $t$ -статистики превышают их критические значения. Это свидетельствует о том, что нулевые гипотезы равенства как дисперсий, так и средних значений двух выборок отвергаются. Значит, с вероятностью 99% можно утверждать, что различие между средними значениями выхода годного металла не является случайным и лимитируется способом продувки металла в конвертере.

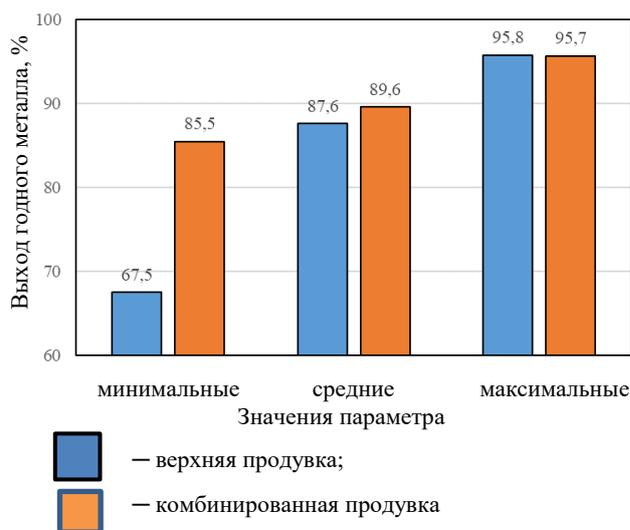


Рис. 4. Сравнение выхода годного металла при верхней и комбинированной продувке

Таблица 2  
Результаты сравнения двух выборок

Параметр	Вид продувки	
	Верхняя	Комбинированная
Количество плавов, шт.	93	49
Среднее значение выхода годного металла, %	87,6	89,6
Дисперсия, % <sup>2</sup>	27,79	4,86
<i>F</i>	5,71	
<i>F</i> критическое при вероятности 99 %	1,85	
<i>t</i> -статистика	3,21	
<i>t</i> критическое при вероятности 99 %	2,35	

### Заключение

В работе проанализированы два массива данных, полученных при производстве низкоуглеродистой конвертерной стали марки 08Ю в конвертерах вместимостью 370 и 350 т соответственно с верхней и комбинированной продувкой, реализованной на разных предприятиях. Технология ковшевой обработки и непрерывной разливки металла не имели существенного различия. При комбинированной продувке металла в конвертере вследствие интенсивного перемешивания расплава инертными газами, подаваемыми через донные блоки, окисленность металла снижается в среднем с 1179 до 649 ppm — в 1,8 раза. Установлена криволинейная убывающая зависимость окисленности металла при комбинированной продувке от содержания углерода в расплаве перед выпуском из конвертера. Применение комбинированной продувки позволяет увеличить выход годных слывов в среднем на статистически значимые 2 % (абс.). Рекомендуется

### Сведения об авторах

**Завалишина Александра Николаевна** – магистрант кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

**Столяров Александр Михайлович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [sam52.52@mail.ru](mailto:sam52.52@mail.ru)

**Потапов Иван Михайлович** – студент кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [potapivan14@gmail.com](mailto:potapivan14@gmail.com)

**Юдин Данил Владиславович** – студент кафедры бизнес-информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [ydv2002@mail.ru](mailto:ydv2002@mail.ru)

**Чернов Виктор Петрович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры литейных процессов и материаловедения Института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [tchernov@magtu.ru](mailto:tchernov@magtu.ru)

осуществить модернизацию оборудования для внедрения в ККЦ ПАО «ММК» запланированной еще при проектировании цеха технологии комбинированной продувки металла в кислородных конвертерах.

### Список литературы

1. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали: учебник для вузов. 3-е изд. перераб и доп. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 544 с.
2. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов. М.: Мир, 2003. 528 с.
3. Поволоцкий Д.Я. Основы технологии производства стали: учебное пособие для вузов. Челябинск: ЮУрГУ, 2004. 191 с.
4. Еланский Г.Н., Линчевский Б.В., Кальменев А.А. Основы производства и обработки металлов: учебник. М.: МГВМИ, 2005. 416 с.
5. Рощин В.Е., Рощин А.В. Электрометаллургия и металлургия стали: учебник. 4-е изд., перераб. и доп. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 572 с.
6. О возможности корректировки места приложения мягкого обжатия слябовой непрерывнолитой заготовки из трубной стали / Бунеева Е.А., Мошкунев В.В., Столяров А.М., Потапова М.В. // Теория и технология металлургического производства. 2020. № 1 (32). С. 4-10.
7. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / Столяров А.М., Сомнат Б., Потапова М.В., Дидович С.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 24-27.

## ABOUT BOF METAL YELD

**Zavalishina Alexandra N.** – master degree student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Stolyarov Alexander M.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [sam52.52@mail.ru](mailto:sam52.52@mail.ru)

**Potapov Ivan M.** – bachelor degree student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [potapivan14@gmail.com](mailto:potapivan14@gmail.com)

**Yudin Danil V.** – bachelor degree student of Business Informatics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [ydv2002@mail.ru](mailto:ydv2002@mail.ru)

**Chernov Viktor P.** – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the department of foundry and material science, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [tchernov@magtu.ru](mailto:tchernov@magtu.ru)

**Abstract.** According to the project in the oxygen-converter shop of the Magnitogorsk Iron and Steel Works, melting in 370 t oxygen converters was to be carried out with combined blowing: top - with oxygen, - with neutral gases. However, during more than thirty years, the shop has been using only top blowing with oxygen. But combined blowing has a number of advantages, which improve both the quality and the yield of produced metal.

In the frame of this paper two data arrays obtained during the production of low-carbon converter 08U grade steel in converters with a capacity of 370 and 350 tons, with top and combined blowing correspondently, implemented at different enterprises were analyzed. The technology of ladle processing and continuous casting of metal did not have a significant difference for this two arrays. The oxidation of the metal decreases on average from 1179 to 649 ppm – 1.8 times at combined blowing with inert gases supplied through the bottom blocks. A curvilinear decreasing dependence of the metal oxidation during combined blowing on the carbon content in the melt before taping has been established. With an increase in the oxidation of the metal, iron losses increase and the yield of suitable slabs decreases. The transition from the upper to the combined blowing makes it possible to increase the slabs yield from 87.6% to 89.6% on average, by a value estimated with a probability of 99%, equal to 2% (abs.).

It is recommended to upgrade the equipment in order to introduce the technology of combined blowing in oxygen converters, which was planned during the design of BOF shop, at MMK.

**Key words:** steel, converter, blowing method, production, yield.

---

Ссылка на статью:

О выходе годного металла при производстве конвертерной стали / А.Н. Завалишина, А.М. Столяров, И.М. Потапов, Д.В. Юдин, В.П. Чернов // Теория и технология металлургического производства. 2022. №4(43). С. 23-26.  
Zavalishina A.N., Stolyarov A.M., Potapov I.M., Yudin D.V., Chernov V.P. About bof metal yeld. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2022, vol. 43, no. 4, pp. 23-26.