

Л. С. Молчанов, А. Г. Чернятевич, В. В. Вакульчук, П. О. Юшкевич,
М. К. Чубин¹

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЯРУСНЫХ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ С ДОЖИГАНИЕМ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

*Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины
¹Днепропетровский государственный технический университет*

Целью работы является проведение экономической оценки влияния различных конструкций многоярусных кислородных фурм и способов продувки конвертерной ванны с дожиганием отходящих газов на эффективность производства железоуглеродистого полупродукта в условиях современного металлургического предприятия. Исследование проведено для процесса выплавки стали в конвертерах комбинированной продувки с подачей кислорода сверху и нейтрального перемешивающего газа через днище в условиях применения обычной и многоярусных кислородных фурм. Исследования по дожиганию конвертерного газа в полости конвертера показало, что пропорционально увеличению доли CO_2 в отходящих газах снижаются затраты на производство стали. В сравнении с применением фурм классической конструкции они составляют 3,23 \$ США / т стали для двухконтурной, 6,81 \$ США / т стали – для двухъярусной и 11,61 \$ США / т стали – для трехъярусной. Определено, что при применении классической конструкции верхней кислородной фурмы низшая теплота сгорания конвертерного газа составляет 10 МДж/м³. В сравнении с классической конструкцией двухъярусная, двухконтурная и трехъярусная фурмы обеспечивают снижение низшей теплоты сгорания конвертерного газа на 8,5, 4,4 и 27,1 % отн. соответственно. На основе полученных данных можно сделать вывод об эффективности применения технологии комбинированной продувки конвертерной ванны с дожиганием отходящих газов в полости конвертера.

Ключевые слова: конвертер, продувка ванны, кислородная фурма, дожигание отходящих газов

Постановка целей и задач исследования. На сегодняшний день металлургия является одной из самых энерго- и ресурсозатратных отраслей производственно-промышленного комплекса. Поэтому в условиях большинства металлургических предприятий внедряются технологические, организационные и комплексные мероприятия по эффективной рециркуляции вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) в рамках производственного цикла [1]. В частности, реконструкция газоотводящих трактов кислородных конвертеров с переводом на работу по системе «без дожигания» позволяет собрать конвертерный газ с 30 % CO и более в газгольдере и подготовить к дальнейшей утилизации в качестве топлива. Как показывает зарубежная практика [2], на производство 1 млн т жидкой стали можно использовать ~ 80 млн м³

конвертерного газа с теплотворной способностью 7,7-8,0 МДж/м³, который способен заменить ~ 16 млн м³ природного газа.

Как известно, дожигание СО до СО₂ в полости конвертера с использованием двухъярусной фурмы является одним из наилучших способов улучшения теплового баланса конвертерной плавки. Благодаря значительному поступлению теплоты в ванну от дожигания СО удалось увеличить расход лома на 7 %, сократить продолжительность продувки на 22 %, снизить расход извести, известняка и плавикового шпата [3]. Вместе с тем из-за возросшей концентрации СО₂ в отходящем газе снижается теплотворная способность последнего, что необходимо учитывать при работе конвертеров со сбором газа в газгольдер и подготовке его к утилизации.

Цель исследования. Проведение экономической оценки влияния различных конструкций многоярусных кислородных фурм и способов продувки конвертерной ванны с дожиганием отходящих газов на эффективность производства железоуглеродистого полупродукта.

Методика проведения исследований. Эффективность работы конвертерного цеха определяется, прежде всего, высокой производительностью и низкими удельными расходами материальных и энергетических ресурсов, что в значительной степени зависит от конструктивных особенностей фурменных устройств, дутьевого и шлакового режимов плавки. Оценка эффективности применения многоярусных кислородных фурм, позволяющих повысить технологические и технико-экономические показатели конвертерной плавки в условиях снижения теплотворной способности отходящих газов, велась для процесса выплавки стали в конвертерах комбинированной продувки с подачей кислорода сверху и нейтрального перемешивающего газа через днище. В качестве базовой была принята классическая технология выплавки стали с применением верхней многосопловой кислородной фурмы обычной конструкции.

Экономическая оценка [4] базировалась на суммировании отклонения относительных затрат производства, связанных с обеспечением выплавки железоуглеродистого полупродукта (стоимость основных шихтовых материалов), без учета стоимости модернизации основного технологического оборудования и может быть рассчитана в соответствии с выражением:

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{C} (M_i^{срав} - M_i^{баз}), \text{ \$ США / т стали} \quad (1)$$

где \mathcal{C} – стоимость шихтового материала, \$ США / т (\$ США / м³); $M_i^{срав}$ и $M_i^{баз}$ – расход i -го шихтового материала для сравнительного способа выплавки стали и базового, т / т стали (м³ / т стали).

Оценка затрат, связанных со снижением теплотворной способности улавливаемого конвертерного газа, осуществлялась путем определения

количества добавки к нему природного газа, необходимой для обеспечения теплоты сгорания конвертерного газа на уровне базовой технологии конвертерной плавки. При этом теплота сгорания газообразного топлива была определена исходя из содержания монооксида углерода, водорода и других горючих составляющих в соответствии с выражением [5]:

$$Q_n^c = 108 \cdot H_2 + 126,3 \cdot CO + 358,2 \cdot CH_4 + 560,5 \cdot C_2H_2 + \dots \text{ КДж/м}^3, \quad (2)$$

где H_2 , CO , CH_4 , C_2H_2 , ... - содержание отдельных газовых компонентов в составе газообразного топлива, % объемный.

Расчет расхода природного газа осуществляли в соответствии с выражением:

$$V_{н.г.} = \frac{Q_{н.срав}^c - Q_{н.баз}^c}{Q_{н.н.г.}^c}, \text{ м}^3 \text{ природ. газа/м}^3 \text{ конвертер. газ}, \quad (3)$$

где $Q_{н.срав}^c$, $Q_{н.баз}^c$ и $Q_{н.н.г.}^c$ - низшая теплота сгорания конвертерного газа для рассматриваемой технологии, базовой и для природного газа, КДж/м³.

Учитывая особенности выплавки стали в кислородных конвертерах необходимо отметить, что на состав конвертерных оказывает значительное влияние конструкция основных дутьевых устройств для ввода кислорода в расплав [6]. На современном этапе развития конвертерного производства стали наибольшее распространение получили фурмы для верхней подачи кислорода следующих конструкций: классическая, двухконтурная, двухъярусная и трехъярусная. Схемы организации комбинированной продувки конвертерной ванны с применением указанных конструкций дутьевых устройств представлены на рис. 1.

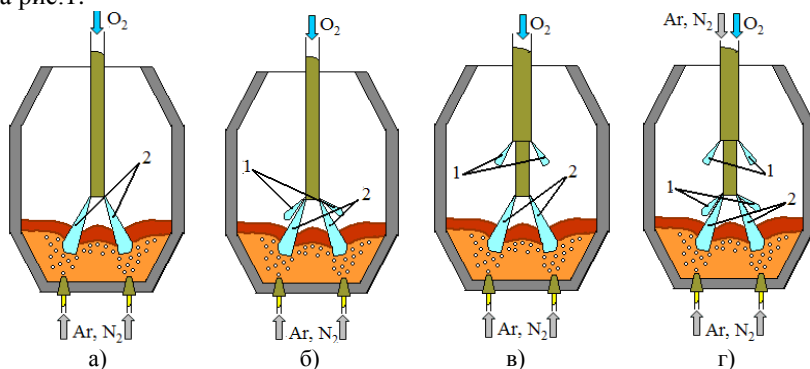


Рисунок 1 – Схемы комбинированной продувки конвертерной ванны звуковыми (1) и сверхзвуковыми (2) кислородными струями при применении фурм различной конструкции: а – классическая; б – двухконтурная; в – двухъярусная; г – трехъярусная. 1 – звуковые кислородные струи; 2 – сверхзвуковые кислородные струи.

Для оценки эффективности применения обычной и многоярусных кислородных фурм в условиях комбинированной продувки конвертерной ванны (рис.1) были привлечены технологические показатели плавки (табл.1), проведенных на 160-т конвертерах [7] и сведения о стоимости основных шихтовых материалов, используемых в конвертерной плавке (табл.2).

Таблица 1. Технологические показатели выплавки стали в 160-т конвертерах комбинированного дутья (кислород сверху, нейтральный газ снизу) с применением кислородных фурм различной конструкции [7]

№	Показатель	Конструкция фурмы			
		Двух-контурная	Двухъярусная	Классическая	Трехъярусная**
1.	Расход чугуна, кг/т	763,6	752,2	788,3	727,6
2.	Расход лома, кг/т	363,7	369,2	331,2	388,4
3.	Расход извести, кг/т	61,2	61,7	65,1	57,1
4.	Расход плавикового шпата, кг/т	2,3	1,7	2,45	1,5
5.	Расход антрацита, кг/т	7,5	4,2	7,25	3,5
6.	Расход кислорода, м ³ /т	49	49,5	57,15	49,8
7.	Выход годного, %	88,7	89,5	89,3	89,6
9.	Расход футеровки, %	2,443	2,359	2,177	2,294
8.	Количество конвертерных газов*, м ³ /т	2,185	2,179	2,176	2,917

* - оценочная величина согласно с [8]

** - прогнозные данные, базирующиеся на результатах лабораторных исследований

Таблица 2. Средняя стоимость шихтовых материалов, применяемых в конвертерной плавке на украинских предприятиях в 2014 г.*

№	Материал	Единицы измерения	Значение
1.	Чугун жидкий	US\$/т	370
2.	Лом стальной	US\$/т	260
3.	Известь металлургическая	US\$/т	120
4.	Плавиковый шпат	US\$/т	295
5.	Антрацит	US\$/т	230
6.	Футеровка	US\$/т	1050
7.	Кислород	US\$/м ³	0,294
8.	Природный газ	US\$/м ³	0,568

* - данные представлены для цикла производства стали, предполагающего выплавку чугуна без использования ПУТ

Результаты исследований. Обработкой данных о составе отходящих из конвертера газов при комбинированной продувке [8] с учетом

особенностей влияния конструкций кислородных фурм на степень дожигания CO до CO₂ [9–11] была получена информация по усредненному составу конвертерных газов, собираемых в газгольдер в интервале от 20 до 90 % времени от начала продувки (табл. 3).

Таблица 3. Усредненный состав собираемых в газгольдер конвертерных газов при комбинированной продувке с подачей кислорода сверху через различные конструкции фурм и нейтрального газа через днище конвертера

№	Конструкция фурмы	Содержание соединений, % объемный				
		CO	CO ₂	O ₂	N ₂	H ₂
1.	Классическая	57,25	38,35	0,85	2,95	0,60
2.	2-х ярусная	44,90	49,86	1,70	2,95	0,60
3.	2-х контурная	50,99	44,10	1,36	2,95	0,60
4.	3-х ярусная	38,57	56,18	1,70	2,95	0,60

Расчетные значения низшей теплоты сгорания конвертерного газа, отходящего из рабочего пространства конвертера при применении различных конструкций кислородных фурм представлены на рис.2.



Рисунок 2 – Низшая теплота сгорания конвертерного газа, образующегося при производстве стали в конвертерах с комбинированной продувкой при применении различных конструкций фурм: цифры над столбцами – численное значение низшей теплоты сгорания, КДж/м³

В соответствии с данными, представленными на рис.4 наивысшей теплотой сгорания, на уровне 7,3 МДж/м³, обладает конвертерный газ, образовавшийся при применении верхней продувочной фурмы классической конструкции. Это связано с преобладанием в отходящих газах монооксида углерода. При анализе влияния конструкции верхних продувочных устройств определено, что с повышением степени дожигания CO до CO₂ пропорционально снижается низшая теплота сгорания отходящих газов. Таким образом, в сравнении с классической конструкцией верхней продувочной фурмы двухъярусная, двухконтурная

и трехъярусная фурмы позволяют достичь снижения низшей теплоты сгорания конвертерного газа, при всех вариантах конвертерной плавки, на 21,4; 10,8 и 32,3 % относительных соответственно.

Для установления эффективности применения конвертерного газа в качестве ВЭР необходимо сравнение низшей теплоты его сгорания с аналогичными показателями применяемых газообразных топлив. На современном этапе наибольшее распространение в металлургическом производстве находят следующие виды газообразных топлив: доменный газ, коксовый газ и природный газ. Их усредненный химический состав представлен в табл.4.

Таблица 4. Усредненный химический состав газообразного топлива, применяемого в металлургии [12]

№	Вид газообразного топлива	Содержание компонентов, % объемный				
		CO	CO ₂	CH ₄	H ₂	N ₂
1.	Доменный газ при производстве передельного чугуна	15,00	27,00	0,35	1,65	56,00
2.	Доменный газ при производстве литейного чугуна	11,00	30,00	0,35	2,25	56,40
3.	Доменный газ при производстве ферросплавов	6,00	33,00	0,35	3,75	56,90
4.	Коксовый газ	7,00	3,00	28,00	59,00	3,00
5.	Природный газ*	-	3,00	90,00	2,00	5,00

* - состав природного газа взят из источника [13].

Расчетные значения низшей теплоты сгорания различных газообразных топлив, применяемых в металлургии, представлены на рис.3. Как видно, наиболее калорийным топливом является природный газ, доменный газ обладает наиболее низким значением низшей теплоты сгорания, а коксовый газ занимает промежуточное положение между природным газом и доменным газом. В этой связи в технологических процессах производства металлопродукции наибольшее распространение получила коксо-доменная топливная смесь или смесь доменного газа и природного [14].

Сопоставление данных (рис.3) о низшей теплоте сгорания конвертерного газа и других газообразных топлив, применяемых в металлургии, свидетельствует о необходимости применения газообразных продуктов конвертерной плавки в качестве топливного ВЭР. Это связано с тем, что низшая теплота сгорания конвертерного газа, собранного в газгольдер при комбинированной продувке конвертерной ванны с использованием различных кислородных фурм, выше в сравнении с доменным газом.



Рисунок 3. Низшая теплота сгорания различных газообразных топлив, применяемых в металлургии: цифры над столбцами – численное значение низшей теплоты сгорания, КДж/м³

Снижение низшей теплоты сгорания конвертерного газа из-за дожигания CO до CO₂ в полости конвертера можно компенсировать добавкой к нему природного газа. Расчетный прирост расхода природного газа на компенсацию снижения теплоты сгорания конвертерных газов в случае замены классической конструкции фурмы на двухъярусную, двухконтурную и трехъярусную в конвертерах с комбинированной продувкой представлен на рис.4.

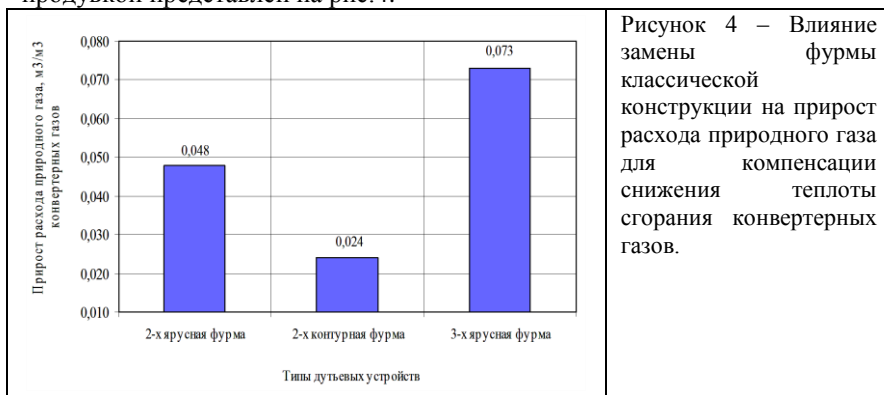


Рисунок 4 – Влияние замены фурмы классической конструкции на прирост расхода природного газа для компенсации снижения теплоты сгорания конвертерных газов.

Так при замене фурмы классической конструкции на двухъярусную наблюдается прирост расхода природного газа 0,048 м³/м³ конвертерного газа, а при замене на двухконтурную и трехъярусную 0,024 и 0,073 м³/м³ конвертерного газа соответственно.

Результаты комплексного анализа технологической эффективности применения дутьевых устройств различной конструкции, базирующегося на оценке затрат на обеспечение производства стали, приведены на рис.5.

На основе полученных данных (рис.5) можно сделать вывод об эффективности применения технологии комбинированной продувки конвертерной ванны с дожиганием отходящих газов в полости конвертера. Как видно, пропорционально увеличению доли CO_2 в отходящих газах снижаются затраты на производство стали. В сравнении с применением фурм классической конструкции они составляют 3,23 \$ США / т стали для двухконтурной, 6,81 \$ США / т стали – для двухъярусной и 11,61 \$ США / т стали – для трехъярусной. При этом необходимо отметить, что полученные результаты являются адекватными только для условий отечественного производства, когда стоимость стального лома ниже стоимости жидкого передельного чугуна, выплавляемого в доменных печах без применения пылеугольного топлива.

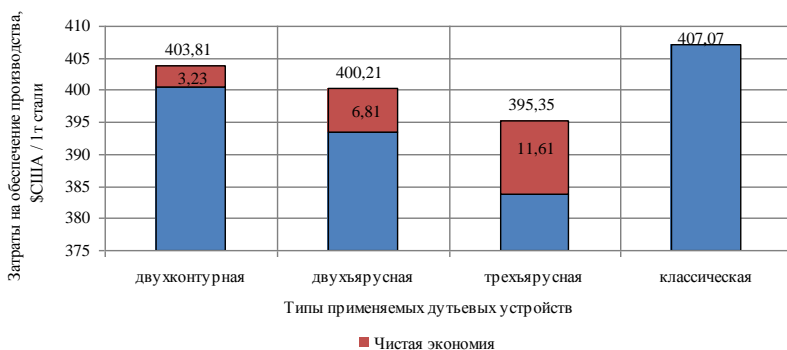


Рисунок 5. Оценка влияния конструкций дутьевых устройств для подачи кислорода на затраты обеспечения конвертерного производства стали: цифры над кривыми – суммарные затраты; цифры на столбцах – экономия при производстве стали

Выводы.

1. Расчетно-аналитическим путем проведена оценка влияния конструкций кислородных фурм на низшую теплоту сгорания отходящих конвертерных газов для условий комбинированной продувки конвертерной ванны с частичным дожиганием CO до CO_2 в полости конвертера.

2. Определено, что при применении классической конструкции верхней кислородной фурмы низшая теплота сгорания конвертерного газа составляет 10 МДж/м³. В сравнении с классической конструкцией двухъярусная, двухконтурная и трехъярусная фурмы обеспечивают

снижение низшей теплоты сгорания конвертерного газа на 8,5, 4,4 и 27,1 % отн. соответственно.

4. Подтверждена возможность применения газообразных продуктов конвертерной плавки в качестве горючих ВЭР, что связано с превосходящим значением низшей теплоты сгорания конвертерного газа в сравнении с доменным газом.

5. Проведена комплексная экономическая оценка внедрения технологий по повышению степени дожигания СО до СО₂ в полости конвертера. В соответствии с ней определена экономическая эффективность данных мероприятий для конъюнктурных условий отечественного металлургического производства.

Библиографический список

1. *Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С.* Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: Підручник. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ». – 2004. – 454с.
2. *Рыжавский А.З., Пирогов А.Ю., Зимогляд А.В.* Реконструкция газоотводящих трактов большегрузных конвертеров // Экология и промышленность.-2017.- № 3-4.-С. 4-10.
3. *Работа 130-т конвертеров, оборудованных двухъярусными фурмами / В.И. Баптизманский, В.О. Куликов, А.Т. Китаев [и др.] // Экспресс-информация ЦНИИ и ТЭИ ЧМ.- 1974.- серия 6.- вып.-3.- С. 1-14.*
4. *Бойчик І.М.* Економіка підприємства: навчальний посібник. - К.: Атіка, 2004. - 480с.
5. ДСТУ 3581 – 97 «Енергозбереження. Методи вимірювання і розрахунку теплоти згоряння палива» - К.:Держстандарт України. – 1999. – 12с.
6. *Бережинский А.И., Циммерман А.Ф.* Охлаждение и очистка газов кислородных конвертеров. – М.: Металлургия. – 1983. – 272 с.
7. *Комбинированная продувка металла с подачей нейтрального газа сверху и через днище конвертера / А.Г. Чернятевич, Р.С. Айзатулов, Л.М. Учитель [и др.] // Сталь.- 1989. –№5. –С. 20 – 23.*
8. *К вопросу* повышения промышленной безопасности конвертеров и экологической безопасности процессов выплавки стали / Л.Г. Тубольцев, В.П. Корченко, В.Ф. Поляков [и др.] // Сборник научных трудов ИЧМ НАНУ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии».-2011. - вып. 24. -С. 258-272
9. *Высокотемпературное* моделирование продувки конвертерной ванны с использованием двухъярусной кислородной фурмы / А.Г. Чернятевич, В.В. Вакульчук, Л.С. Молчанов [и др.] // Теория и практика металлургии.- 2017. – № 3-4. –С. 79 – 85.
10. *Молчанов Л.С., Вакульчук В.В.* Газодинамические особенности продувки конвертерной ванны через двухконтурную фурму // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды: сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции молодых

ученых и специалистов, Харьков, 22 – 23 марта 2017 г. – Х.: ГП «УкрНТЦ «Энергосталь».-2017. – С. 102 – 108.

11. *Термодинамическое* и высокотемпературное моделирование комбинированной продувки конвертерной ванны с использованием трехъярусной кислородной фурмы / А.Г. Чернятевич, Л.С. Молчанов, П.О. Юшкевич, М.К. Чубин // Сборник научных трудов ИЧМ НАНУ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2017. – вып. №31. – С. 110 – 121.
12. *Кривандин В.А., Егоров А.В.* Тепловая работа и конструкция печей черной металлургии: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1989. – 462с.
13. *Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е.* Металлургия чугуна - К.: Высшая школа. Главное издательство, 1981. – 496 с.
14. *Губинский В.И.* Металлургические печи: Учеб. пособие. - Днепропетровск: НМетАУ, 2006. – 85с.

Reference

1. Boychenko B.M., Okhot'skiy V.B., Kharlashyn P.S. Konverterne vyrobnytstvo stali: teoriya, tekhnolohiya, yakist' stali, konstruktshy ahrehativ, retsykulyatsiya materialiv i ekolohiya: Pidruchnyk. – Dnipropetrovs'k: RVA «Dnipro-VAL». – 2004. – 454s.
2. Ryzhavskyy A.Z., Pyrohov A.YU., Zymohlyad A.V. Rekonstruktshyya hazootvodyashchykh traktov bol'shehruznykh konverterov // Ékoloheyya y promyshlennost'.-2017.- № 3-4.-S. 4-10.
3. Rabota 130-t konverterov, oborudovannykh dvukh"yarusnymy furmamy / V.Y. Baptyzmanskiy, V.O. Kulykov, A.T. Kytaev [y dr.] // Ékspress-ynformatsyya TSNNY y TËY CHM.- 1974.- seryya 6.- vyp.-3.- S. 1-14.
4. Boychuk I.M. Ekonomika pidpryyemstva: navchal'nyy posibnyk. - K.: Atika, 2004. - 480c.
5. DSTU 3581 – 97 «Enerhozberezhennya. Metody vymiryuvannya i rozrakhunku teploty z'horyannya palyva» - K.:Derzhstandart Ukrainy. – 1999. – 12s.
6. Berezhinskiy A.I., Tsimmerman A.F. Okhlazhdeniye i ochistka gazov kislородnykh konverterov. – М.: Metallurgiya. – 1983. – 272 s.
7. Kombinirovannaya produvka metalla s podachey neytral'nogo gaza sverkhu i cherez dnishche konvertera / A.G. Chernyatevich, R.S. Ayzatulov, L.M. Uchitel' [i dr.] // Stal'.- 1989. –№5. –S. 20 – 23.
8. K voprosu povysheniya promyshlennoy bezopasnosti konverterov i ekologicheskoy bezopasnosti protsessov vyplavki stali / L.G. Tubol'tsev, V.P. Korchenko, V.F. Polyakov [i dr.] // Sbornik nauchnykh trudov ICHM NANU «Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii».-2011. - vyp. 24. -S. 258-272
9. Vysokotemperaturnoye modelirovaniye produvki konverternoy vanny s ispol'zovaniyem dvukh"yarusnoy kislородnoy furmy / A.G. Chernyatevich, V.V. Vakul'chuk, L.S. Molchanov [i dr.] // Teoriya i praktika metallurgii.- 2017. – № 3-4. –S. 79 – 85.
10. Molchanov L.S., Vakul'chuk V.V. Gazodinamicheskiye osobennosti produvki konverternoy vanny cherez dvukhkonturnuyu furmu // Innovatsionnyye puti modernizatsii bazovykh otrasley promyshlennosti, energo- i resursoberezheniye, okhrana okruzhayushchey prirodnoy sredy: sbornik nauchnykh trudov VI «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», Сборник научных трудов ИЧМ. – 2018. - Вып.32

- Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, Khar'kov, 22 – 23 marta 2017 g. – KH.: GP «UkrNTTS «Energostal'».-2017. – S. 102 – 108.
11. Termodinamicheskoye i vysokotemperaturnoye modelirovaniye kombinirovannoy produvki konverternoy vanny s ispol'zovaniyem trekh"yarusnoy kislorodnoy furmy / A.G. Chernyatevich, L.S. Molchanov, P.O. Yushkevich, M.K. Chubin // Sbornik nauchnykh trudov ICHM NANU «Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii». – 2017. – vyp. №31. – S. 110 – 121.
 12. Krivandin V.A., Yegorov A.V. Teplovaya rabota i konstruktsiya pechey chernoy metallurgii: Uchebnik dlya vuzov. – M.: Metallurgiya, 1989. – 462s.
 13. Yefimenko G.G., Gimmel'farb A.A., Levchenko V.Ye .Metallurgiya chuguna - K.: Vysshaya shkola. Glavnoye izdatel'stvo, 1981. – 496 s.
 14. Gubinskiy V.I. Metallurgicheskiye pechi: Ucheb. posobiye. - Dnepropetrovsk: NMetAU, 2006. – 85s.

Л. С. Молчанов, А. Г. Чернятевич, В. В. Вакульчук, П. О. Юшкевич, М.К. Чубін

Оцінка впливу конструкцій багатоярусних кисневих фурм на ефективність продукції конвертерної ванни з допалюванням відхідних газів

Метою роботи є проведення економічної оцінки впливу різних конструкцій багатоярусних кисневих фурм і способів продукції конвертерної ванни з допалюванням газів, що відходять з конвертера, на ефективність виробництва залізвуглецевого напівпродукту в умовах сучасного металургійного підприємства. Дослідження проведено для процесу виплавляння сталі в конвертерах комбінованої продукції з подачею кисню зверху і нейтрального газу через днище в умовах застосування звичайної і багатоярусних кисневих фурм. Дослідження з допалюванням конвертерного газу в порожнині конвертера показало, що паралельно зі збільшенням частки CO₂ в газах знижуються витрати на виробництво сталі. У порівнянні із застосуванням фурм класичної конструкції вони становлять 3,23 \$ США/т сталі для двоконтурної, 6,81 \$ США/т сталі для двох'ярусної і 11,61 \$ США/т сталі для триярусної. Визначено, що при застосуванні класичної конструкції верхньої кисневої фурми нижча теплота згоряння конвертерного газу становить 10 МДж/м³. У порівнянні з класичною конструкцією двоярусна, двоконтурна і триярусна фурми забезпечують зниження нижчої теплоти згоряння конвертерного газу на 8,5; 4,4 і 27,1% (відн.) відповідно. На основі отриманих даних можна зробити висновок про ефективність застосування технології комбінованої продукції конвертерної ванни з допалюванням газів, що відходять в порожнині конвертера.

Ключові слова: конвертер, продукція ванни, киснева фурма, допалювання відхідних газів

L. S. Molchanov, A. G. Chernyatevich, V. V. Vakulchuk, P. O. Yushkevich, M.K.Chubin

Evaluation of influence of multilevel oxygen lance constructions on blowing efficiency of converter bath with post-combustion of waste gases

The aim of the work is to carry out an economic assessment of the effect of various structures of multi-tiered oxygen lances and methods for flushing the converter bath with the afterburning of waste gases on the efficiency of the production of iron-carbon semi-products in a modern metallurgical plant. The study was conducted for the process of steel smelting in converters of combined blowing with supply of oxygen from above and neutral gas through the bottom in the conditions of using conventional and multi-tiered oxygen tuyeres. Studies on the afterburning of converter gas in the converter cavity showed that, in proportion to the increase in the proportion of CO₂ in the exhaust gases, the costs of steel production are reduced. Compared with the use of tuyeres of classical construction, they amount to 3.23 US dollars / ton of steel for double-circuit, 6.81 US dollars / ton of steel for bunk, and 11.61 US dollars / ton of steel for three-tier. It was determined that when using the classic design of the upper oxygen tuyere, the lower heat of combustion of the converter gas is 10 MJ / m³. In comparison with the classical design, the two-tier, double-circuit and three-tier tuyeres ensure a reduction in the lower heat of combustion of the converter gas by 8,5; 4,4 and 27,1% (rel.), Respectively. On the basis of the data obtained, it is possible to draw a conclusion about the effectiveness of using the technology of combined blowing of the converter bath with the afterburning of exhaust gases in the converter cavity.

Keywords: converter, bath purge, oxygen lance, afterburning of exhaust gases

*Статья поступила в редакцию сборника 26.10.2018 года, прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания редакционной коллегии сборника №1 от 26 декабря 2018 года)
Рецензенты: д.т.н., проф. Б.М.Бойченко; д.т.н, А.С.Вергун*