

А.Г. Чернятевич, д.т.н., проф., зав.отделом, ORCID 0000-0002-4552-4997

Л.С. Молчанов, к.т.н., с.н.с; ORSID 0000-0001-6139-5956

В.В. Вакульчук, к.т.н., н.с., ORSID 0000-0001-7887-2843

П.О. Юшкевич, к.т.н., н.с., ORSID 0000-0002-2675-0737

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛОСТИ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА ПРИ ПРОДУВКЕ ВАННЫ С ДОЖИГАНИЕМ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Аннотация. Целью исследования является изучение особенностей физико-химических процессов в полости кислородного конвертера при осуществлении продувки ванны через двухъярусные фурмы различной конструкции. Анализ показал, что классические конструкции кислородных фурм, снабженные наконечниками с соплами Лаваля, не всегда удовлетворяют требованиям технологии. В статье приведены результаты лабораторного высокотемпературного моделирования процесса продувки конвертерной ванны через двухъярусные фурмы, оснащенные наконечниками различной конструкции. Исследования проводили на многоцелевой установке, смонтированную на базе 150-кг индукционной печи и 60-кг конвертера, изготовленного в масштабе 1:18 относительно 160-т промышленного агрегата. Показано, что использование двухъярусной фурмы позволяет получить дополнительные преимущества для процесса плавки. Так, в начальный и основной периоды продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму с двухрядным наконечником удалось ускорить процесс шлакообразования без добавок плавикового шпата, интенсифицировать удаление фосфора при высоком содержании углерода. По завершению начального периода продувки при низкой температуре металла 1300-1330°C и соответствующей основности жидкоподвижного шлака, обеспечивается достижение степени дефосфорации 73,3-79,1 %. При использовании для продувки двухъярусных фурм с двухрядными наконечниками увеличивается также эффективность дожигания отходящих газов CO до CO₂ при одинаковой скорости обезуглероживания ванны. На основе данных высокотемпературного моделирования определена рациональная конструкция двухъярусной фурмы, обеспечивающая: сбалансированность теплового баланса; повышение выхода годного; создание условий для удаления фосфора при высоком содержании углерода; исключение негативного воздействия на футеровку.

Ключевые слова: кислородный конвертер, высокотемпературное моделирование, двухъярусная кислородная фурма, процесс плавки, дожигание отходящих газов

Ссылка для цитирования: *Чернятевич А.Г., Молчанов Л.С., Вакульчук В.В., Юшкевич П.О., Кобеляцкий А.С.* Физико-химические процессы в полости кислородного конвертера при продувке ванны с дожиганием отходящих газов. //«*Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*». – 2019. - Вып.33. – С.116-128. (In Russian). DOI 10.52150/2522-9117-2019-33-116-128

Состояние вопроса и постановка задачи исследования. В настоящее время конвертерное производство качественного железуглеродистого полупродукта связано с повсеместным применением комбинированной продувки обессеренного чугуна кислородом сверху и нейтральным перемешивающим газом через днище. При этом существующие схемы организации производственного цикла предполагают выплавку железуглеродистого полупродукта в одном или двух конвертерах с разделением процесса на два периода: 1) совместного удаления кремния и фосфора; 2) обезуглероживания и глубокой дефосфорации металлического расплава [1]. Применяемые в данном случае классические конструкции кислородных фурм, снабженные наконечниками с круговым расположением от 4-х до 6-ти сопел Лавалья, формирующих разноимпульсные сверхзвуковые кислородные струи, не удовлетворяют требованиям технологии в отношении улучшения теплового баланса конвертерной плавки, ускорения хода шлакообразования, удаления фосфора при повышенном содержании углерода в металле, предотвращения интенсивного заметалливания ствола фурмы и горловины конвертера, повышения выхода железуглеродистого полупродукта [2].

В сложившихся условиях актуальной задачей современной металлургической науки является разработка конструкций дутьевых устройств, позволяющих оптимизировать тепловой баланс конвертерной плавки, за счет повышения степени дожигания отходящих газов в полости конвертера, при одновременном исключении указанных негативных аспектов [3]. При этом особенности протекания химических превращений в полости кислородного конвертера являются изученными в недостаточной степени.

Целью данного исследования является изучение особенностей физико-химических процессов в полости кислородного конвертера при осуществлении продувки ванны через двухъярусные фурмы различной конструкции.

Методика проведения исследований физико-химических явлений в полости кислородного конвертера при выплавки стали с частичным дожиганием отходящих газов. Изучение физико-химических явлений, протекающих в полости кислородного конвертера с применением двухъярусных фурм различной конструкции проводилось по средствам высокотемпературного моделирования в лабораторных условиях. С целью получения наиболее полной информации об изменении параметров конвертерной ванны применяли многоцелевую установку, смонтированную на базе 150-кг индукционной печи и 60-кг конвертера,

изготовленного в масштабе 1:18 относительно 160-т промышленного агрегата (рис. 1).

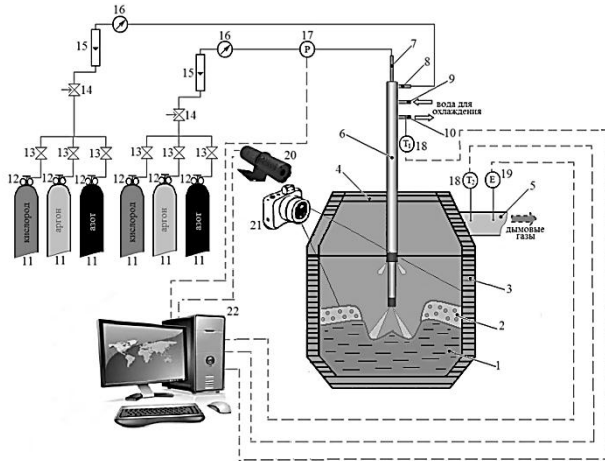


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для проведения высокотемпературного моделирования: 1- металлическая ванна; 2- шлакометаллическая эмульсия; 3- корпус конвертера; 4- съемная горловина со смотровым окном; 5- дымоотводящий тракт; 6- двухъярусная фурма; 7- патрубок подвода основного кислорода; 8- патрубок подвода дополнительного кислорода; 9,10- патрубки подвода и отвода охлаждающей воды; 11- газовые баллоны; 12- редукторы; 13- отсечные вентили; 14- регулирующие вентили; 15- ротаметры; 16- манометры аналоговые; 17- манометр цифровой; 18- термопары; 19- датчик выброса пыли ДВП-02; 20- пирометр; 21- видеокамера; 22- компьютер.

Процесс проведения исследований продувки конвертерной ванны сопровождался фиксацией параметров ванны (температура и химический состав) с интервалом 3 – 5 мин., а также высокоскоростной видеосъемкой (300 кадров/с), осуществляемой при помощи видеокамеры *Kasio exkelisx – 101*.

Для высокотемпературного моделирования применяли передельный жидкий чугун известного состава (в среднем 4,15%С, 0,32%Mn, 0,55%Si, 0,034%S и 0,095%P) с температурой 1350-1450°C, который расплавля в кислоте тигле индукционной печи. После отбора пробы чугуна и заливки в конвертер начинали продувку с использованием двухъярусных кислородных фурм (рис. 2, табл. 1), снабженных независимо регулируемые подводами к ним основного $Q_{O_2}^{осн}$ и дополнительного $Q_{O_2}^{доп}$ потоков кислорода с расходами в пределах 2,0-3,3 и 0,18-1,65 м³/т·мин соответственно через группы сопел Лавалья и цилиндрических. Высоту

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33

фурмы над уровнем ванны в спокойном состоянии изменяли в пределах 20-60 калибров.

Таблица 1 – Конструктивные параметры двухъярусных фурм

Параметры	Номера фурм			
	№1 (рис.2,б)	№2 (рис. 2,б)	№3 (рис. 2,б)	№4 (рис. 2,г)
Наконечник				
Число сопел Лавалья / цилиндрических, шт.	4/-	4/-	4/8	4/8
Угол наклона к вертикали фурмы, град сопел Лавалья (α_1) / цилиндрических (α_2)	15/-	12/-	12/30	12/30
Критический ($d_{кр}$) / выходной ($d_{вых}$) диаметр сопла Лавалья, мм	1,7/2,5	1,7/2,5	1,7/2,5	1,7/2,5
Диаметр цилиндрических сопел ($d_{ц}$), мм	-	-	1,0	1,0
Верхний сопловой блок				
Число цилиндрических сопел, шт.	8	8	8	8
Угол наклона к вертикали (α_3), град	45	30	30	30
Диаметр сопел, мм	1,0	1,0	1,0	1,0
Расстояние верхнего соплового блока от торца наконечника ($H_я$), мм	105	105	105	105

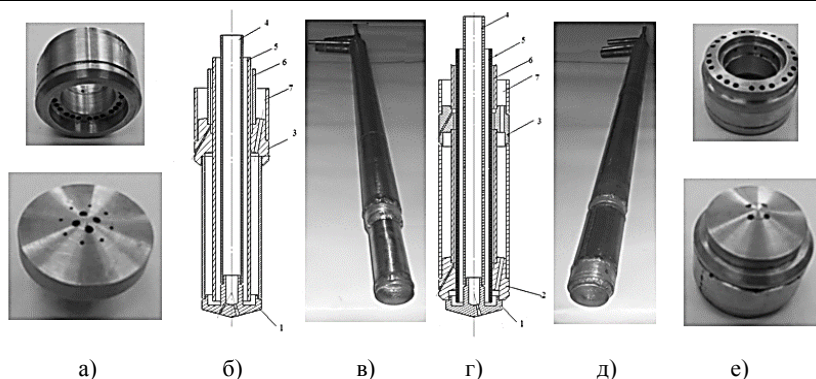


Рисунок 2 - Схема и вид элементов конструкций двухъярусных фурм с подводом дополнительного кислорода только к цилиндрическим соплам верхнего соплового блока (а, б, в), одновременно к цилиндрическим соплам верхнего блока и наконечника (г, д, е): 1- обычный 12-ти сопловой двухрядный наконечник (а); 2-

составной 12-ти сопловый двухрядный наконечник (г); 3- 8-ми сопловый верхний сопловый блок; 4- труба подвода основного кислорода; 5- труба подвода воды; 6- труба подвода дополнительного кислорода; 7 – труба отвода воды

Для наведения шлака рассредоточено присаживали доломитизированную известь, плавиковый шпат и железорудные окатыши фракцией 8-12 мм в количестве 1,5-2,5, 0,2-0,3 и 0,1-0,2 кг соответственно.

С целью изыскания дополнительных управляющих воздействий на состояние вспененной шлакометаллической эмульсии в конвертере в определенные периоды продувки производили замену дополнительного кислорода на азот с расходом 0,18-2,05 м³/т·мин.

Основные результаты высокотемпературного моделирования. Важнейшими факторами технологии продувки конвертерной ванны с дожиганием отходящих газов (рис. 3) являются:

- выбор кислородной фурмы с оптимальной конструкцией наконечника и верхнего соплового блока;
- разработка дутьевого и шлакового режимов продувки, совмещенного с процессом частичного дожигания отходящих газов, обеспечивающего ускоренное шлакообразование и окисление фосфора с предотвращением локального износа футеровки, интенсивного заметалливания фурмы и горловины конвертера.

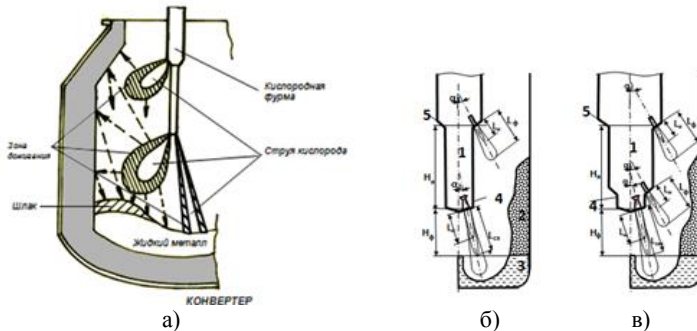


Рисунок 3 - Схема организации продувки конвертерной ванны с дожиганием отходящих газов (а) при использовании обычной двухъярусной (б), двухъярусной с двухрядным наконечником (в) фурм: 1 – фурма; 2 – шлак; 3 – металл; 4 – наконечник; 5 – верхний сопловый блок

При применении двухъярусных кислородных фурм (табл. 1) с началом продувки ванны 60-кг конвертера с расходом основного кислорода 0,20 м³/мин (3,33 м³/т·мин) устойчивое «зажигание» плавки наблюдалось при расположении торца наконечника на начальной высоте (

$H_{\phi}^{\text{нач}}$) 45-50 калибров. С установлением двухъярусной фурмы (№ 1, табл. 1) на рабочей высоте ($H_{\phi}^{\text{раб}}$) 30 калибров и расходе основного кислорода 0,20 м³/мин через 4 сопла Лавалья обеспечивалась продувка в режиме глубокого проникновения сверхзвуковых кислородных струй в расплав с формированием в глубине последнего обособленных реакционных зон.

Из пределов этих реакционных зон, в случае расположения уровня вспененной шлакометаллической эмульсии вблизи торца наконечника фурмы, происходит периодический выход на поверхность ванны объемов СО в виде макропузырей. При этом в формировании факелов дожигания СО до СО₂ принимают участие только струи дополнительного кислорода, расположенные на стороне выхода макропузыря, остальные же струи внедряются во вспененный шлак и взаимодействуют с последним (рис. 4). С повышением скорости обезуглероживания в основной период продувки, а соответственно с увеличением объема выделяемого из пределов реакционной зоны монооксида углерода, возрастает по диаметру околофурменная область выхода на поверхность ванны СО. Это способствует при расходе дополнительного кислорода 0,084-0,13 м³/мин (1,4 – 2,16 м³/(т·мин)) интенсивному развитию дожигания вовлеченного в звуковые струи СО до СО₂ с формированием высокотемпературных факелов, воздействующих на поверхность ванны за пределами зон непосредственного взаимодействия сверхзвуковых кислородных струй с расплавом (рис. 5).

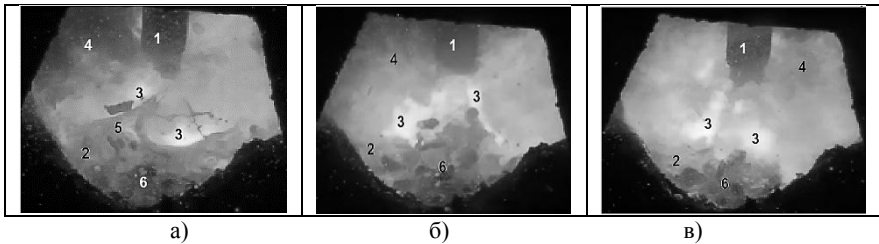


Рисунок. 4 - Картина продувки конвертерной ванны с использованием двухъярусной фурмы № 1 (табл. 1) при параметрах дутья: $Q_{O_2}^{\text{оч}} = 0,20$ м³/мин (3,33 м³/(т·мин)); $Q_{O_2}^{\text{доп}} = 0,12$ м³/мин (2,0 м³/(т·мин)); $H_{\phi}^{\text{раб}} = 30$ калибров; 1- двухъярусная фурма; 2 - поверхность шлака; 3 – факела дожигания СО; 4 – выход бурого дыма; 5 – всплески шлака; 6 – кусочки присаженной извести.

Зафиксированная в результате обработки кадров видеосъемки (рис. 4, 5) длина факелов горения, натекающих на поверхность ванны, составляет 90-100 калибров.

При уровне вспененной шлакометаллической эмульсии, располагающейся вблизи (рис. 6) или над верхним ярусом (рис. 7) цилиндрических сопел продувка обычно протекает в режиме, когда с определенной частотой из пределов реакционной зоны выходит цепочка всплывающих вдоль ствола фурмы макропузырей CO , которые в процессе всплывания и укрупнения вызывают первоначальное увеличение высоты слоя вспененного шлака и последующее снижение после выхода и разрушения очередного макропузыря на поверхности ванны в околофурменной зоне.

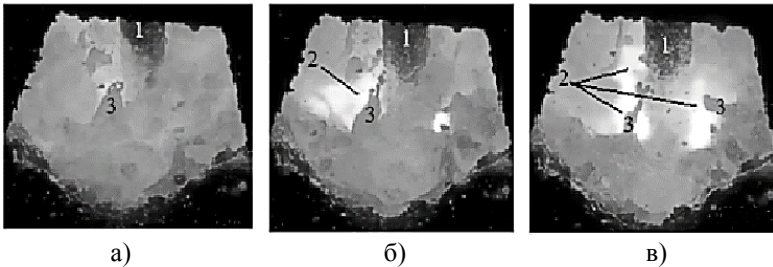


Рисунок 5 - Картина продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму (№2, табл. 2) в период интенсивного окисления углерода ($N_{\text{ф}}^{\text{раб}} = 30$ калибров, $Q_{\text{O}_2}^{\text{осн}} = 0,20 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($3,33 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{мин})$), $Q_{\text{O}_2}^{\text{доп}} = 0,10 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($1,66 \text{ м}^3/(\text{т}\cdot\text{мин})$): 1- фурма; 2- факела дожигания; 3- всплески шлака

Высокотемпературные продукты реакции дожигания CO до CO_2 передают тепло окружающей макропузырь оболочке шлакометаллической эмульсии, которая в перегретом до более высокой температуры состоянии выносятся на поверхность ванны (рис. 7), принимая участие в процессе передачи тепла от дожигания через шлак к присаженной кусковой извести и металлической ванне. Теплопередача от факела дожигания осуществляется по закономерностям погружного горения, завершается в шлаковом слое и не вызывает дополнительного нагрева футеровки.

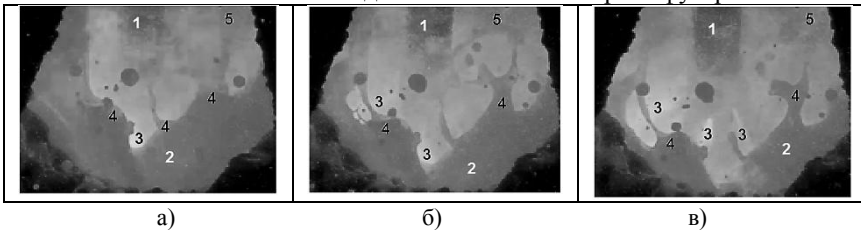


Рисунок 6 - Картина продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму (№3, табл. 1) в период интенсивного окисления углерода ($N_{\text{ф}}^{\text{раб}} = 30$ калибров, $Q_{\text{O}_2}^{\text{осн}}$

$=0,20 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($3,33 \text{ м}^3/(\text{Г}\cdot\text{мин})$), $Q_{\text{O}_2}^{\text{доп}} = 0,13 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($2,17 \text{ м}^3/(\text{Г}\cdot\text{мин})$): 1- двухъярусная фурма; 2- поверхность шлака; 3- факела дожигания СО; 4- всплески шлака; 5- выход бурого дыма

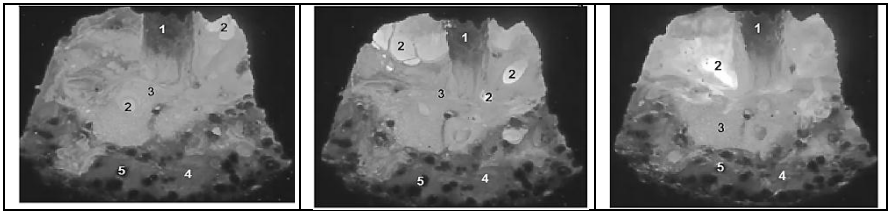


Рисунок 7 - Картина продувки конвертерной ванны с использованием двухъярусной фурмы (№ 4, табл. 1) в период наводки шлака при параметрах дутья: 1 - двухъярусная фурма; 2 – выход СО; 3 – околофурменный перегретый объем шлака; 4 – периферийный шлаковый объем; 5 – кусочки присаженной извести

В начальный и основной периоды продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму с двухрядным наконечником (№ 3, табл. 1) удалось ускорить процесс шлакообразования без добавок плавикового шпата, интенсифицировать удаление фосфора при высоком содержании углерода путем:

- расположения в ходе продувки двухъярусной фурмы на начальной ($H_{\phi}^{\text{нач}}$) и рабочей ($H_{\phi}^{\text{раб}}$) высоте, определяемой из уравнений [4]:

$$\frac{H_{\phi}^{\text{нач}}}{d_{\text{кр}}} = 63,1 \left(\sum i_{\text{O}_2}^{\text{осн}} / mg \right)^{0,094} (1),$$

$$\frac{H_{\phi}^{\text{раб}}}{d_{\text{кр}}} = 40,8 \left(\sum i_{\text{O}_2}^{\text{осн}} / mg \right)^{0,092} (2),$$

где $\sum i_{\text{O}_2}^{\text{осн}}$ – суммарный импульс основных сверхзвуковых кислородных струй, действующих на ванну, $\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2$; m – масса жидкого металла, кг ; g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$; $d_{\text{вых}}$ – критический диаметр сопла Лаваля;

- распределения общего потока кислорода на основной ($Q_{\text{O}_2}^{\text{осн}} = Q_{\text{O}_2}^{\text{л.н}} + Q_{\text{O}_2}^{\text{п.н}}$), ддуваемый в полость конвертера через сопла Лаваля ($Q_{\text{O}_2}^{\text{л.н}}$) и цилиндрические ($Q_{\text{O}_2}^{\text{п.н}}$) наконечника, и дополнительный ($Q_{\text{O}_2}^{\text{доп}} = Q_{\text{O}_2}^{\text{в.н}}$), подаваемый через верхний ярус цилиндрических сопел, в процентном соотношении 78:12:10.

При таком режиме дутья (рис. 8) по завершению начального периода продувки при низкой температуре металла 1300-1330°C и основности жидкоподвижного шлака $\text{CaO}/\text{SiO}_2=1,9-2,1$, содержащего 23,7-24,2 % FeO и 4,0-4,2 % MgO, обеспечивается удаление фосфора с начального содержания в чугуне 0,09-0,12 % до 0,024-0,025 % по завершению начального периода продувки с достижением степени дефосфорации 73,3-79,1 %.

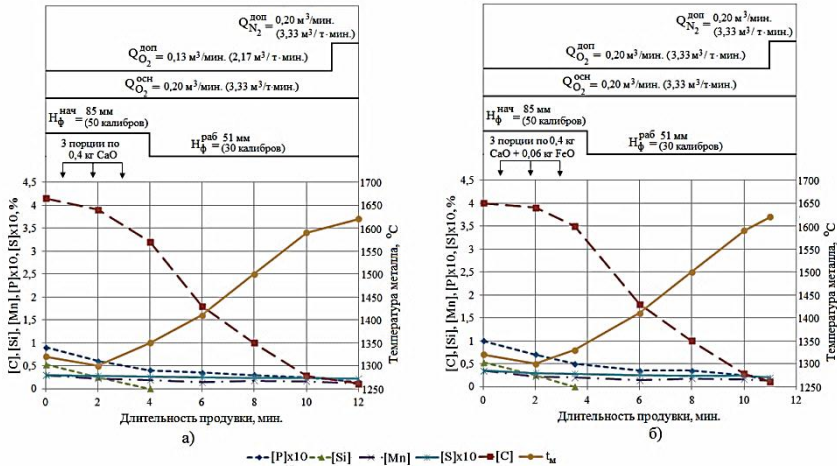


Рисунок 8 – Изменение химического состава и температуры металла в ходе продувки с использованием двухъярусной фурмы № 3 (а) и № 4 (б) при отработанных параметрах дутья и присадки шлакообразующих материалов

По окончании продувки ванны концентрация углерода и фосфора в металле составляла 0,09-0,10 % и 0,015- 0,017 % соответственно. При равной скорости обезуглероживания ванны эффективность дожигания CO до CO₂ увеличивается в случае использования для продувки конвертерной ванны двухъярусных фурм с двухрядными наконечниками (№№ 3, 4), поскольку их конструкции из-за размещения сопел Лавала в наконечнике под углом 12⁰ к вертикали, обеспечивает формирование мощного «свищевого» потока CO, выходящего из пределов общей реакционной зоны ассиметрично вдоль ствола фурмы. При этом повышение эффективности дожигания CO до CO₂ во вспененном шлаке достигается путем формирования встречно направленной двойной завесы звуковых кислородных струй с локализацией дожигания в пределах околофурменного «свищевого» потока и предотвращением агрессивного воздействия факелов дожигания и перекисленного шлака на футеровку конвертера. Одновременно обеспечивается снижение интенсивности

выноса капель металла и шлака в направлении ствола фурмы и горловины конвертера, что приводит к снижению интенсивности заметалливания горловины конвертера и ствола фурмы.

С учетом скачивания части шлака после завершения начального периода плавки в период основного окисления углерода представляется возможным организовать продувку по малошлаковой технологии с меньшим количеством присаженной извести.

Важным является то, что с использованием двухъярусных фурм (№№ 3, 4) появляются дополнительные управляющие воздействия на процесс рафинирования, которые позволяют проводить дефосфорицию расплава при более низких температурах металла с дальнейшим повышением температуры ванны за счет дополнительного прихода тепла в результате дожигания СО до СО₂ во вспененной шлакометаллической эмульсии. Замена дополнительного кислорода на азот на завершающей стадии продувки обеспечивает (рис. 8) эффективное снижение уровня вспененной шлакометаллической эмульсии перед повалкой конвертера, что сопровождается снижением потери металла в виде корольков со скачиваемым шлаком, сокращением продолжительность замера температуры ванны, отбора проб металла и шлака.

Основные выводы. Освещены результаты лабораторного высокотемпературного моделирования продувки конвертерной ванны через двухъярусные фурмы, оснащенные наконечниками различной конструкции.

На основе данных высокотемпературного моделирования определена рациональная конструкция двухъярусной фурмы, обеспечивающей сбалансированность теплового баланса, повышения выхода годного, создания условий для удаления фосфора при высоком содержании углерода и исключения негативного воздействия на футеровку.

Библиографический список

1. Чернятевич А.Г., Вакульчук В.В. О повышении эффективности верхней продувки конвертерной ванны // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр.- Днепропетровск: ИЧМ.-2015.- Вып.30.- С. 130-147.*
2. Чернятевич А.Г., Молчанов Л.С., Юшкевич П.О. Направления повышения эффективности продувки ванны 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» // *Теория и практика металлургии. – №3– 4 (110–111). – 2017. – С.66–74.*
3. Чернятевич А.Г. Направления совершенствования конструкций кислородных фурм в конвертерных цехах Украины / А.Г.Чернятевич, А.В.Сущенко, *«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2019. - Вып.33 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33 ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33*

В.В. Вакульчук, П.О. Юшкевич // Бюллетень «Черная металлургия». - 2015.- № 3.- С. 52-65.

4. Чернятевич А.Г. Високотемпературное моделирование продувки конвертерной ванны с использованием двухъярусной кислородной фурмы / А.Г. Чернятевич, В.В. Вакульчук, Л.С. Молчанов, П.О. Юшкевич, Е.Н. Сигарев, К.И. Чубин, Е.А. Чубина // Теория и практика металлургии. – 2017. – №3–4 (110–111). – С.79–85.

Refer ence

1. Chernyatevich A.G., & Vakul'chuk V.V. (2015). O povyshenii effektivnosti verkhney produvki konvertvernoy ванны [On increasing the efficiency of the upper blowing of the converter bath]. *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii: Sb.nauchn.tr. [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. Collection of scientific articles]*, 2015, 30, 130-147. (In Russian).
2. Chernyatevich A.G., Molchanov L.S. & Yushkevich P.O. (2017). Napravleniya povysheniya effektivnosti produvki ванны 160-t konverterov PAO «ArcelorMittal Krivoy Rog» [Directions for increasing the efficiency of bath blowing of 160-ton converters of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih"]. *Teoriya i praktika metallurgii [Theory and Practice of Metallurgy]*, 2017, 3–4 (110–111), 66–74. (In Russian).
3. Chernyatevich A.G., Sushchenko A.V., Vakul'chuk V.V. & Yushkevich P.O. (2015). Napravleniya sovershenstvovaniya konstruksiy kislorodnykh furn v konverternykh tsekhakh Ukrainy [Directions for improving the designs of oxygen tuyeres in converter shops in Ukraine]. *Byulleten' Chernaya metallurgiya [Ferrous Metallurgy. Bulletin]*, 2015, 3, 52-65. (In Russian).
4. Chernyatevich A.G., Vakul'chuk V.V., Molchanov L.S., Yushkevich P.O., Sigarev Ye.N. & Chubin K.I. et al. (2017). Vysokotemperaturnoye modelirovaniye produvki konvertvernoy ванны s ispol'zovaniyem dvukh"yarusnoy kislorodnoy furny [High-Temperature Simulation of Converter Bath Purge Using a Double Deck Oxygen Lance]. *Teoriya i praktika metallurgii [Theory and Practice of Metallurgy]*, 2017, 3–4 (110–111), 79–85. (In Russian).

А.Г. Чернятевич, д.т.н., проф., зав.відділом, ORCID 0000-0002-4552-4997

Л.С. Молчанов, к.т.н., с.н.с., ; ORSID 0000-0001-6139-5956

В.В. Вакульчук, к.т.н., с.н.с., ORSID 0000-0001-7887-2843

П.О. Юшкевич, к.т.н., с.н.с., ORSID 0000-0002-2675-0737

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины

Фізико-хімічні процеси в порожнині кисневого конвертера під час продування ванни з допалювання газів

Анотація. Метою дослідження є вивчення особливостей фізико-хімічних процесів у порожнині кисневого конвертера при здійсненні продувки ванни через двоярусні фурми різної конструкції. Аналіз показав, що класичні конструкції кисневих фурм, оснащені наконечниками з соплами Лавалля, не завжди задовольняють вимогам технології. У статті наведено результати лабораторного високотемпературного моделювання процесу продувки конвертерної ванни через

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2019. - Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 *«Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii». – 2019. – Выпуск 33*

двох'ярусні фурми, оснащені наконечниками різної конструкції. Дослідження проводили на багатоцільовий установці, що змонтована на базі 150-кг індукційної печі та 60-кг конвертера, виготовленого в масштабі 1:18 щодо 160-т промислового агрегату. Показано, що використання двох'ярусної фурми дозволяє отримати додаткові переваги для процесу плавки. Так, в початковий і основний періоди продувки конвертерної ванни через двох'ярусну фурму з дворядним наконечником вдалося прискорити процес шлакоутворення без добавок плавикового шпату, інтенсифікувати видалення фосфору при високому вмісті вуглецю. По завершенню початкового періоду продувки при низькій температурі металу 1300-1330°C і відповідній основності шлаку, забезпечується досягнення ступеня дефосфорации 73,3-79,1%. При використанні для продувки двох'ярусних фурм з дворядними наконечниками збільшується також ефективність допалювання газів СО до СО₂ при однаковій швидкості зневуглецювання ванни. На основі даних високотемпературного моделювання визначено раціональну конструкцію двох'ярусної фурми, що забезпечує: збалансованість теплового балансу; підвищення виходу придатного; створення умов для видалення фосфору при високому вмісті вуглецю; виключення негативного впливу на футеровку.

Ключові слова: кисневий конвертер, високотемпературне моделювання, двох'ярусна киснева фурма, процес плавки, допалювання газів

A.G. Chernyatevich, Dr. Sci., professor, Head of Department, ORCID 0000-0002-4552-4997

L.S. Molchanov, PhD, Senior Researcher, ORSID 0000-0001-6139-5956

V.V. Vakulchuk, PhD, Senior Researcher, ORSID 0000-0001-7887-2843

B.Y. Yushkevich, PhD, Senior Researcher, ORSID 0000-0002-2675-0737

Iron and Steel Institute named after Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine

Physical and chemical processes in the cavity of the oxygen converter when burning the bath with the afterburning of exhaust gases

Summary. The aim of the study is to study the characteristics of physicochemical processes in the cavity of an oxygen converter when purging a bath through two-tier tuyeres of various designs. The analysis showed that the classical designs of oxygen tuyeres equipped with tips with Laval nozzles do not always satisfy the requirements of the technology. The article presents the results of laboratory high-temperature modeling of the process of purging the converter bath through two-tier tuyeres equipped with tips of various designs. The studies were carried out on a multipurpose installation mounted on the basis of a 150-kg induction furnace and a 60-kg converter manufactured at a scale of 1:18 relative to 160 tons of an industrial unit. It is shown that the use of a two-tier lance provides additional advantages for the smelting process. So, in the initial and main periods of purging the converter bath through a two-tier lance with a double-row tip, it was possible to accelerate the process of slag formation without the addition of fluorspar, to intensify the removal of phosphorus at a high carbon content. Upon completion of the initial purge period at a low metal temperature of 1300-1330 °C and the corresponding basicity of liquid slag, the degree of dephosphorization of 73.3-79.1% is achieved. When used for blowing two-tier tuyeres with double-row tips, the efficiency of afterburning of CO exhaust gases to CO₂ also increases at the same decarburization

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33*

rate of the bath. Based on the data of high-temperature modeling, the rational design of the two-tier lance has been determined, which ensures: balance of the heat balance; yield increase; creating conditions for the removal of phosphorus at a high carbon content; exclusion of negative effects on the lining.

Keywords: oxygen converter, high-temperature modeling, two-level oxygen lance, melting process, exhaust gas afterburning

For citation: *Chernyatevich A.G., Molchanov .S., Vakul'chuk .V., Yushkevich P.O., Kobelyatskiy A.S. Fiziko-khimicheskiye protsessy v polosti kislородного konvertера pri produvke vannы s dozhiganiyem otkhodyashchikh gazov. [Physicochemical processes in the oxygen converter cavity during bath purging with afterburning of exhaust gases.]. «Fundamental'nye i prikladnye problemy čerной metallurgii». [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy] 2020, 34. 116-128. (In Russian). DOI 10.52150/2522-9117-2019-33-116-128*

*Статья поступила в редакцию сборника 19.10.2019 года,
прошла внутреннее и внешнее рецензирование
(Протокол заседания редакционной коллегии сборника №2 от 23 декабря 2019 г.*