

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)



RU

(11)

2 630 730

(13)

C9

(51) МПК

C21C 5/48 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 29.01.2018)
Пошлина: учтена за 3 год с 25.11.2018 по 24.11.2019

(21)(22) Заявка: [2016146197](#), 24.11.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.11.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.11.2016

(45) Опубликовано: [12.09.2017](#)

(15) Информация о коррекции:
Версия коррекции №1 (W1 C1)

(48) Коррекция опубликована:
[26.10.2017](#) Бюл. № [30](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2112048 C1, 27.05.1998. SU
407954 A1, 10.12.1973. RU 135647 U1,
20.12.2013. JP 11181514 A, 06.07.1999.

Адрес для переписки:

398059, г. Липецк, ул. Фрунзе, 43, ООО
"ЛЭКСО-ТПП", Бутыриной Л.И.

(72) Автор(ы):

Афонин Олег Викторович (RU),
Проскурин Иван Анатольевич (RU)

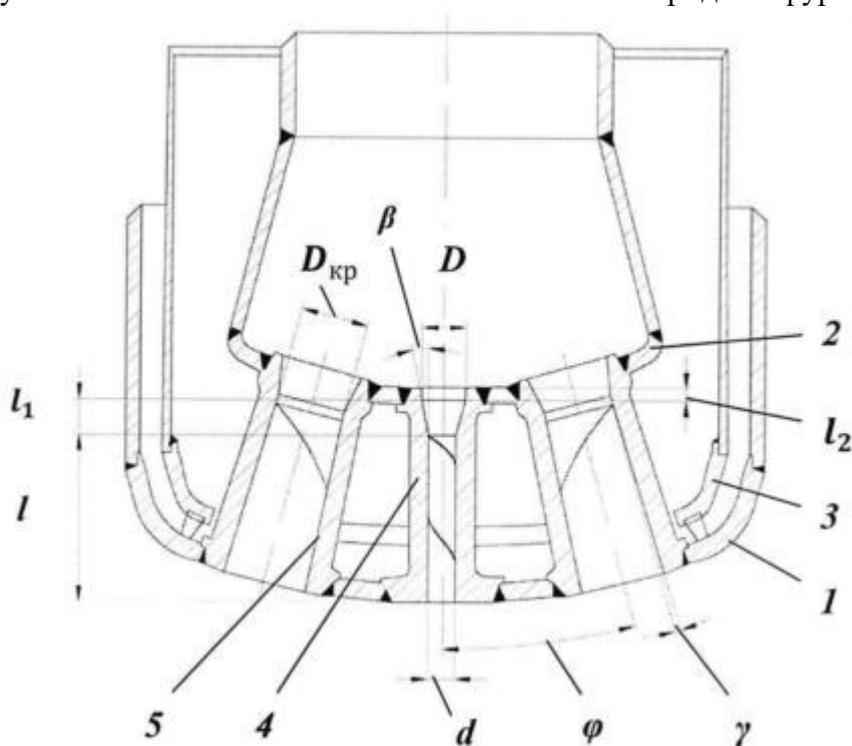
(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной
ответственностью "Девелопмент-Липецк"
(RU),
Афонин Олег Викторович (RU)

(54) НАКОНЕЧНИК ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ РАСПЛАВА
ОКИСЛИТЕЛЬНЫМ ГАЗОМ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области черной металлургии и может быть использовано в сталеплавильных агрегатах, преимущественно в кислородных конвертерах. Наконечник газокислородной фурмы содержит центральное сопло и периферийные сопла Лавалья. Центральное сопло включает нижний цилиндрический и верхний конический участки, а также дополнительно вверху может включать входной цилиндрический участок. В центральном сопле и по крайней мере в одном из периферийных сопел Лавалья посредством однозаходной спиралеобразной нарезки выполнена канавка, глубина и ширина которой составляют 0,03-0,06 диаметра критического сечения сопла Лавалья, а угол раскрытия - 20-50°. Канавка в центральном сопле образована на внутренней поверхности нижнего цилиндрического участка с шагом нарезки от 1/3 до 1/2 его длины. Канавка в соплах Лавалья образована на внутренней поверхности расширяющегося участка с шагом нарезки, равным его длине. Могут быть использованы как расчетные, так и нерасчетные сопла Лавалья. В результате обеспечивается повышение интенсивности продувки, сокращение ее длительности при одновременном снижении брызгообразования, повышении поверхностного окисления металла, снижении заметалливания газоотводящего тракта, увеличении стойкости наконечника газокислородной фурмы. 3 з.п. ф-лы, 6 ил., 1 табл.



Фиг. 2

Изобретение относится к области черной металлургии, а именно к конструкциям наконечников устройств для продувки расплава окислительным газом, и может быть использовано в сталеплавильных агрегатах, преимущественно в кислородных конвертерах.

Дальнейшее совершенствование конвертерного процесса предполагает применение более интенсивного дутья, особенно в конвертерах большой емкости, что требует рассредоточения дутьевого потока и раннее шлакообразование во избежание сильных выбросов и выносов металла. Наиболее важными элементами конструкции фурмы (устройства для ввода окислительного газа в расплав), определяющими условия формирования окислительной газовой струи и характер ее воздействия на металл, являются сопла.

Известна вертикальная одноструйная кислородная фурма для продувки расплава в кислородном конвертере, содержащая наконечник с центральным цилиндрическим соплом, имеющим винтовую нарезку на внутренней поверхности. Винтовая нарезка предусмотрена для рассредоточения дутья по поверхности и большего воздействия на шлакообразование и реакции шлака с металлом (Челищев Е.В., Арсентьев П.П., Яковлев В.В., Рыжонков Д.И. Общая металлургия (Металлургия черных и цветных металлов). Издательство «Металлургия», 1971, с. 164-165).

Недостатком данного решения является низкая интенсивность дутья, особенно в конвертерах большой емкости, где требуется рассредоточение дутьевого потока во избежание сильных выбросов и выносов металла.

Известна фурма для подачи кислорода в конвертер, содержащая наконечник с периферийными соплами и центральным соплом, имеющим цилиндрический и конусный участки с промежуточным участком между ними, на внутренней поверхности которого выполнена многозаходная винтовая нарезка (RU 1648215, С21С 5/48, 1991).

Недостатком данного решения является сложность изготовления и эксплуатации, а также низкий коэффициент полезного действия струй, истекающих из периферийных сопел, и неупорядоченный характер их взаимодействия с расплавом, что приводит к неорганизованным выбросам, всплескам металла и неэффективной гидродинамике расплава.

Известна фурма сталеплавильного агрегата, содержащая наконечник с соплами Лавала, по крайней мере, одно из которых имеет многозаходную винтовую нарезку на внутренней поверхности, выполненную на его закритической части, при диаметре свободного от нарезки проходного сечения на участке с нарезкой, составляющем 0,7-1,3 диаметра критического сечения сопла (далее по тексту диаметр критического сечения сопла Лавала обозначен $D_{кр}$), длине участка с нарезкой, составляющей 0,15-0,60 длины закритической части сопла, и угле подъема винтовой линии нарезки, равном 25-27° (RU 1548215, С21С 5/48, 1990).

Недостатком данного решения является низкая стойкость фурмы, усложнение процессов дожигания газов, сложность конструктивного исполнения, сложность эксплуатации, что ограничивает их широкое использование в практике производства.

Известен водоохлаждаемый многосопловый наконечник газокислородной фурмы, содержащий для подачи продувочного агента наклонные сопла, оси которых симметричны относительно центральной оси, с сопловыми отверстиями, сходящимися к оси наконечника и расположенными симметрично под углом, и центральный тракт цилиндрической формы с винтовой нарезкой. Данный наконечник представляет собой монолитную конструкцию, снабжен утолщенной рабочей частью и специальными сменными износостойкими вставками. Наличие винтовой нарезки в центральном тракте способствует завихрению газового реагента и стабилизации его истечения (RU 135647, С21С 5/48, 2013).

Недостатком данного решения является повышенная материалоемкость, сложность конструкции, возможность неорганизованных выбросов, всплесков металла, ограниченные функциональные возможности.

Наиболее близким аналогом изобретения является известный наконечник газокислородной фурмы для продувки расплава окислительным газом в кислородном конвертере, содержащий периферийные сопла Лавала и центральное сопло, включающее нижний цилиндрический и верхний конический участки, раскрытый в RU 2112048 С1, С21С 5/48, 27.05.1998. Принято за прототип.

Основным недостатком данного решения является высокая степень «жесткости» дутья, ограничивающая возможности повышения интенсивности продувки. Неэффективная «жесткая» продувка ухудшает условия шлакообразования, увеличивает выбросы и выносы, заматалливание технологического оборудования,

ухудшает качество выплавляемой стали, тепловой баланс и технико-экономические показатели плавки. Низкий коэффициент полезного действия струй кислорода, истекающих из сопел Лаваля, и неупорядоченный характер их взаимодействия с расплавом приводит к неорганизованным выбросам, всплескам металла и неэффективной гидродинамике расплава. Наблюдается повышенное содержание металла в шлаках из-за неспособности эффективно использовать динамический напор струи для создания управляемого тепломассопереноса в объеме расплава.

Необходимость вести продувку в режиме недорасширения струй приводит к дополнительным потерям энергии дутья и снижению эффективности продувки (неполному использованию потенциальной энергии давления дутья для увеличения кинетической энергии струй и мощности перемешивания ванны). Неспособность эффективно использовать динамический напор струи для создания управляемого тепломассопереноса в объеме расплава приводит к повышенному содержанию металла в шлаках и низкой производительности металлургического агрегата.

Таким образом, известные конструкции сопел наконечников фурм, основанные на формировании управляемых струйных течений, для реализации энерго- и ресурсосберегающих технологий выплавки стали требуют дальнейшего совершенствования.

Задачей, решаемой данным предложением, является возможность интенсификации процесса продувки конвертерного производства для дальнейшего повышения эффективности процесса выплавки стали путем создания наконечника газокислородной фурмы со спиралеобразной канавкой, выполненной на внутренней поверхности центрального сопла и, по крайней мере, одного из периферийных сопел Лаваля, обеспечивающего «смягчение» режима продувки, адекватного увеличению числа сопел. Чем выше динамический напор и интенсивность взаимодействия кислородной струи с ванной («жесткость» дутья), тем усваивается большая часть вдуваемого кислорода. Однако с увеличением расхода кислорода через сопло увеличиваются не только размер реакционной зоны, но и величина всплывающих крупных газовых объемов, и высота образующихся всплесков. Следовательно, для интенсификации процесса продувки в конвертере необходимо наряду с повышением степени рассредоточения дутья одновременно обеспечить его стабилизацию, оптимизацию тепло- и массообменных процессов в рабочем пространстве конвертера («смягчение» режима продувки). Для возможности создания по ходу плавки шлака постоянной и высокой окисленности или возможности быстрого наведения первичного шлака, когда этого требует ход продувки, требуется улучшение кинетики ускорения окисленности шлака и поверхностного окисления металла, снижение выбросов окиси углерода, выноса шлакометаллической эмульсии, заматалливания газоотводящего тракта, увеличение стойкости наконечника газокислородной фурмы. В связи с быстротечностью продувки чрезвычайно важно как можно раньше обеспечить формирование шлака; в противном случае из-за недостаточного времени контакта металла со шлаком не успевают завершиться процессы дефосфорации и десульфурации. Кроме того, при продувке без шлака наблюдается повышенный вынос капель металла с газами, которые отходят, и образование на фурме наплывов металла.

Технический результат заключается в возможности повышения интенсивности продувки при одновременном снижении брызгообразования (выбросов окиси углерода, выноса шлакометаллической эмульсии), повышении поверхностного окисления металла, снижении заматалливания газоотводящего тракта, увеличении стойкости наконечника газокислородной фурмы за счет лучшей организации струй окислительного газа в рабочем пространстве агрегата и снижения потерь энергии дутья при снижении «жесткости» дутья.

Под термином «жесткость» дутья подразумевается изменение динамического напора и интенсивности взаимодействия кислородной струи с расплавом.

Под термином «интенсивность продувки» подразумевается расход кислорода в единицу времени, исчисляемый в м³/мин.

Под термином «окислительный газ», подразумевается газ, взаимодействующий с металлом и содержащий кислород в свободном или связанном состоянии, причем в последнем случае он должен быть при температурах сталеплавильной ванны термодинамически активным по отношению к элементам металла, окисляющимся в ходе процесса. Вводимый в ванну окислительный газ взаимодействует с металлом, кислород, входящий в его состав, окисляет примеси (элементы) металла, что и лежит в основе рафинировочных процессов. Кинетика процессов производства стали во многом зависит от характера взаимодействия струи окислительного газа с расплавами, следовательно, определяется параметрами газовых струй и устройств для их ввода в металл.

Под термином «сопло» подразумевается отверстие, через которое окислительный газ истекает в конвертерную ванну. В продольном сечении сопло может быть цилиндрическим, конически сходящимся или соплом Лавала (<http://bookre.org/reader?file=476870&pg=5>/Баптизманский В.И., Меджибожский и др., Конвертерные процессы производства стали: Теория, технология, конструкция агрегатов, с. 7).

Сущность изобретения состоит в том, что в наконечнике газокислородной фурмы для продувки расплава окислительным газом в кислородном конвертере, содержащем периферийные сопла Лавала и центральное сопло, включающее нижний цилиндрический и верхний конический участки, особенность состоит в том, что дополнительно в центральном сопле и, по крайней мере, в одном из периферийных сопел Лавала посредством однозаходной спиралеобразной нарезки выполнена канавка, глубина и ширина которой составляют (0,03-0,06) диаметра критического сечения сопла Лавала, а угол раскрытия - (20-50)°, при этом канавка в центральном сопле образована на внутренней поверхности цилиндрического участка с шагом нарезки от 1/3 до 1/2 его длины, а канавка в соплах Лавала образована на внутренней поверхности расширяющегося участка с шагом нарезки, равным его длине. В частности, в центральном сопле сверху дополнительно выполнен цилиндрический участок, длина и диаметр которого составляют (0,15-0,25) диаметра критического сечения сопла Лавала и (0,6-0,9) диаметра критического сечения сопла Лавала соответственно. Во всех случаях могут быть использованы как расчетные, так и нерасчетные сопла Лавала.

Данная совокупность существенных признаков обеспечивает получение указанного технического результата.

Если используется цилиндрическое сопло, то при достижении критической скорости (280-300) м/сек температура истекающего окислительного газа остается постоянной, а статическое давление в струе на выходе повышается постепенно согласно выражению:

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{нач}} [2/(k + 1)]^{k/(k-1)} \quad (1)$$

где $P_{\text{вых}}$ - статическое давление в струе окислительного газа на выходе из центрального сопла;

$P_{\text{нач}}$ - исходное абсолютное давление окислительного газа перед центральным соплом;

k - показатель адиабаты (для двухатомных газов $k=1,4$).

Расчет произведен по адиабатной системе для двухатомных газов.

Если перед соплом давление $P_{\text{нач}}=1,2$ МПа, то на определенном промежутке времени на выходе из сопла:

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{нач}} \left(\frac{2}{1,4 + 1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} \approx 1,2 \left(\frac{2}{2,4} \right)^{3,5} = 0,633 \text{ МПа}$$

Но с учетом того, что есть некоторые параметры продувки по регулированию длины факела и пропускной способности всех сопел наконечника фурмы ($Q_{\text{м}^3/\text{мин}}$), когда этого требует ход продувки, когда перед соплом давление $P^1_{\text{нач}} = 0,7 \text{ МПа}$, то на определенном промежутке времени при продувке на выходе из сопла $P^1_{\text{вых}}$ (статическое давление в струе окислительного газа на выходе из центрального сопла) составит:

$$P^1_{\text{вых}} \approx P^1_{\text{нач}} \left(\frac{2}{1,4 + 1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,7 \left(\frac{2}{2,4} \right)^{3,5} = 0,369 \text{ МПа}$$

При этом, если в конвертере давление в окружающей среде $0,101325 \text{ МПа}$ (1 атм), тогда статическое давление в струе окислительного газа в конвертере ($P^2_{\text{вых}}$) составит:

$$P^2_{\text{вых}} \approx P^1_{\text{вых}} - P_{\text{окр}} \quad (2)$$

где $P_{\text{окр}}$ - давление в окружающей среде.

$$P^2_{\text{вых}} \approx 0,369 - 0,101325 = 0,2676 \text{ МПа}$$

Давление $P^2_{\text{вых}} = 0,2676 \text{ МПа}$ (2 атм) - это очень малое давление перед соплом и малая пропускная способность окислительного газа.

Такие же результаты показал расчет по расходу газа, зависящий от площади критического сечения сопла, давления перед соплом и температуры перед соплом.

$$Q_1 = k' P_{\text{нач}} f_{\text{вых}} \quad (3)$$

где Q_1 - пропускная способность центрального сопла;

k' - коэффициент пропорциональности;

$f_{\text{вых}}$ - площадь выходного сечения центрального сопла.

Расчетные данные показали, что при уменьшении давления газа перед центральным соплом и пропускной способности ниже $40 \text{ м}^3/\text{мин}$ температура на наружной тарелке увеличивается сверх максимально допустимой - свыше $(400-500)^\circ\text{C}$, уменьшаются прочностные характеристики меди и происходит линейное расширение на развертку меди наружной тарелки $0,5 \text{ м}$.

При увеличении температуры от t_0 до t происходит увеличение длины от l_0 до l на Δl :

$$\Delta l = \alpha(t - t_0)l \quad (4)$$

где Δl - линейное расширение материала насадки (преимущественно меди).

Увеличившаяся длина l будет равна:

$$l = [1 + \alpha(t - t_0)]l_0 \quad (5)$$

где α - коэффициент линейного расширения меди $\alpha = 16,6 \times 10^{-6} = 0,00366$

Определили, насколько увеличится длина медного наконечника при повышении температуры на 200°C .

$$\Delta l = \alpha \Delta t l \approx 3,88 \text{ мм}$$

Таким образом, вся наружная тарелка приходит в движение и происходит быстрый износ всего наконечника по сварочным швам (трещины). Согласно выражению (3) расход газа по центральному соплу не должен быть ниже $40 \text{ м}^3/\text{мин}$. При уменьшении давления газа перед центральным соплом и пропускной способности ниже $40 \text{ м}^3/\text{мин}$

температура на наружной тарелке увеличивается сверх максимально допустимой - свыше $(400-500)^{\circ}\text{C}$, т.к. уменьшаются прочностные характеристики меди и происходит линейное расширение на развертку меди наружной тарелки 0,5 м.

Анализ полученных данных подтверждает о преимуществе окисления кремния и марганца в реакционной зоне в первую очередь в период с низким давлением перед соплом и малым объемом газа окислителя. Таким образом, повышение стойкости фурм будет происходить за счет спиралеобразной нарезки на центральном сопле даже с малым объемом и низким давлением перед соплом. Канавка будет выполнять компенсацию расхода кислорода и закрутку массы кислорода, тем самым отталкивая встречные потоки CO-CO_2 перед наконечником в самой напряженной части наружной тарелки.

Кинетика данного процесса будет заключаться в следующем: при дозвуковом течении окислительного газа перед канавкой канавка начинает распространять возмущение газа во все стороны, в том числе и вверх, откуда он поступает и начинает подготавливать его к предстоящей встрече с канавкой, начинается постепенная вихревая закрутка потока окислительного газа уже перед канавкой.

Согласно проведенным расчетам такое же определение будет и к периферийным соплам Лавалья (возмущение). Работа сопел Лавалья будет отличаться от центрального сопла, так как давление на выходе будет атмосферное. На практике существуют расчетные и нерасчетные сопла Лавалья. Расчетные сопла могут работать в режимах 350 т конвекторах с продувкой примерно $1200 \text{ м}^3/\text{мин}-1100 \text{ м}^3/\text{мин}$. Ниже этого предела происходит эродирование сопел Лавалья и прогар лобовины наконечника. Работа расчетных сопел всегда мягкая. Нерасчетные сопла Лавалья работают по большому диапазону пропускной способности примерно $1200 \text{ м}^3/\text{мин}$ до $700 \text{ м}^3/\text{мин}$. У нерасчетных сопел есть недостаток - это «жесткость» струи. Происходящий гул на конвертерах свидетельствует этому по отношению к расчетным. Нерасчетные сопла разработаны для определенной марки стали, когда это требует продувка. Канавка, выполненная на внутренней поверхности расширяющегося участка (закритической части) сопла может быть применена как для расчетных, так и нерасчетных сопел Лавалья.

Таким образом, при продувке, предлагаемой фурмой, окислительный газ попадает через центральное сопло со спиралеобразной канавкой, также и через периферийные сопла Лавалья, по крайней мере, одно из которых выполнено со спиралеобразной канавкой. Наличие канавки способствует увеличению пропускной способности окислительного газа, мягкость такой продувки будет способствовать уменьшению выбросов и заметалливанью газоотводящего тракта. Изменением параметров канавки (шага, ширины и угла раскрытия) и общего количества спиральных канавок в соплах регулируется процесс вращения газовой струи.

Канавка, закручивая весь поток окислительного газа, позволит как можно «мягче» производить продувку, создать по ходу плавки шлаки постоянной и высокой окисленности или быстрое наведение первичного шлака, когда этого требует ход продувки. При этом реакционную зону проникновения струи окислительного газа в ванну можно регулировать, в том числе, углом расхождения периферийных сопел от центральной оси фурмы (угол ϕ на фиг. 2). Применение периферийных сопел Лавалья и центрального сопла со спиральной канавкой на их внутренней поверхности позволяет подать поток окислительного газа в виде «мягко-жесткой» струи с развитым вихревым слоем общей проходящей массы окислительного газа, что способствует быстрому шлакообразованию и эффективному дожиганию окиси углерода. Такой вихревой поток окислительного газа также способствует уменьшению заметалливания газоотводящего тракта, выноса шлакометаллической эмульсии и выбросов окиси углерода.

Указанный угол раскрытия канавки обеспечивает возмущение газа к центральной части сопел, что дает закручивание общей массы окислительного газа, генерируя стабилизированные струи, обладающие высокой дальностью и стационарным характером взаимодействия струй с расплавом, высокоэффективной гидродинамикой расплава и малым брызгообразованием. Меняется пространственная направленность газовой струи и, соответственно, пространственная ориентация высокотемпературного кратера, расположенного в зоне встречи газовой струи с перерабатываемым материалом, в сторону зоны, имеющей наименьшую температуру. В результате смещения высокотемпературного кратера уравнивается температурное поле в металлургическом агрегате, увеличивается скорость плавления и объем перерабатываемого материала.

Эффект «умягчения» продувки сталеплавильной ванны адекватен увеличению числа сопел. Процесс продувки протекает более стабильно. Повышается эффективность продувки плавки вследствие лучшей организации кислородных струй в рабочем пространстве агрегата и снижения потерь энергии дутья, связанных с «деформацией» участков сопел и возникновением отрывных течений. Минимизированы потери потенциальной энергии давления потока в сопле и повышена эффективность продувки сталеплавильной ванны. Позволяет дополнительно защитить выходную кромку сопла и присопловую область от попадания брызг металла и шлака, что способствует повышению стойкости кромок сопел и наконечника фурмы.

Выполнение нижнего (выходного) цилиндрического участка в центральном сопле определенной длины позволяет увеличить устойчивость течения из сопла к отрыву (за счет эффекта «поджатия» потока к стенкам сопла) и уменьшить радиационный тепловой поток на внутреннюю поверхность выходного участка сопла от высокотемпературной реакционной зоны (за счет уменьшения углового коэффициента излучения). Это способствует увеличению стойкости выходного участка сопел и фурмы в целом к абразивной, тепловой и химической эрозии.

Наличие спиральной нарезки способствует завихрению газового реагента и стабилизации его истечения.

Таким образом, обеспечивается возможность повышения интенсивности продувки.

На фиг. 1 представлен наконечник фурмы, объемное изображение.

На фиг. 2 представлено возможное исполнение наконечника фурмы, общий вид, продольный разрез, где:

$D_{кр}$ - диаметр критического сечения сопла Лавалья;

d - диаметр выходного отверстия центрального сопла;

D - диаметр входного отверстия центрального сопла;

l - длина нижнего цилиндрического участка центрального сопла;

l_1 - длина конусного участка центрального сопла;

l_2 - длина верхнего цилиндрического участка центрального сопла;

ϕ - угол наклона периферийных сопел к вертикальной оси наконечника (фурмы);

γ - угол раскрытия периферийных сопел Лавалья;

β - угол раскрытия конусной поверхности канала центрального сопла относительно его оси.

На фиг. 3 представлено возможное исполнение центрального сопла, общий вид, продольный разрез.

На фиг. 4 представлен разрез А-А на фиг. 3.

На фиг. 5 представлено периферийное сопло Лавалья со спиралеобразной канавкой, общий вид, продольный разрез.

На фиг. 6 представлен разрез Б-Б на фиг. 5.

На фиг. 7 представлена таблица «Технологические параметры опытных образцов №1, №2 и сравнительных плавок».

Наконечник газокислородной фурмы содержит наружную тарелку 1, внутреннюю тарелку 2, разделитель 3, центральное сопло 4, периферийные сопла 5 Лавала. В общем случае канал центрального сопла 4 включает нижний цилиндрический участок 6 длиной (высотой) $(1-3)D_{кр}$, диаметром $(0,3-0,6)D_{кр}$ и верхний усеченный конусный участок 7 высотой $(0,3-0,6)D_{кр}$ с углом раскрытия относительно оси центрального сопла $(14-20)^\circ$. Вверху на входе канал центрального сопла 4 может дополнительно включать цилиндрический участок 8 длиной (высотой) $(0,15-0,25)D_{кр}$, диаметром $(0,6-0,9)D_{кр}$. На внутренней поверхности цилиндрического участка 6 выполнена канавка 9, образованная однозаходной спиралеобразной нарезкой. Канавка 9 выполнена шириной $(0,03-0,06)D_{кр}$, глубиной $(0,03-0,06)D_{кр}$, углом раскрытия канавки $20-50^\circ$, с шагом, равным от $1/3$ до $1/2$ длины цилиндрического участка 6 центрального сопла 4.

Сопла 5 Лавала расположены под углом ϕ (см. фиг. 2) к центральной оси наконечника (фурмы). Угол наклона осей сопел 5 к центральной оси наконечника (фурмы) составляет $(13-17)^\circ$. Количество сопел 5 Лавала и угол ϕ зависит от интенсивности продувки. Угол γ - угол раскрытия сопла 5 составляет $(3-6)^\circ$. На внутренней поверхности, по крайней мере, одного из сопел 5 Лавала с шагом, равным длине его расширяющегося участка (закритической части), выполнена однозаходная спиралеобразная нарезка, образующая канавку 10 шириной $(0,03-0,06)D_{кр}$, глубиной $(0,03-0,06)D_{кр}$, углом раскрытия канавки $20-50^\circ$.

Выполнение канавки 10 более $0,06D_{кр}$ приводит к возможности ее эродирования, разгару критического сечения сопла 5 Лавала; менее $0,03D_{кр}$ - нецелесообразно из-за малой пропускной способности канавки, приводящей к возможности закручивания не всего потока струи окислительного газа (снижению процесса закручивания струи окислительного газа).

Размер канавок 9 и 10 одинаковый, так как проходящий по ним минутный объем окислительного газа одинаков на всех соплах 4 и 5. Поэтому легко регулировать струи, т.е. находить необходимые параметры: диаметр критического сечения сопла 5 и диаметры выходных отверстий сопел 4, 5.

Центральное сопло 4 служит для подачи окислительного газа в виде вихревой дозвуковой струи на продувку и дожигание газообразной окиси углерода. Сопла 5 Лавала с канавкой 10 служат для подачи окислительного газа в виде сверхзвуковых вихревых струй на продувку.

Тип сопел и диаметр выходного сечения определяются технологическими условиями и требуемым минутным расходом кислорода. Диапазон конструктивных параметров находится в прямой зависимости от величины критического диаметра сопла 5 Лавала и объясняется газодинамическими закономерностями истечения окислительного газа из сопел 4, 5. Поддержание заданного соотношения позволяет стабилизировать процессы шлакообразования и процесс обезуглероживания расплава, быстрое формирование активного шлака в начальный период. Более интенсивная круговая циркуляция расплава способствует также охлаждению реакционной зоны за счет разбавления продуктов реакции относительно холодным окружающим расплавом, а снижение температуры реакционной зоны приводит к снижению поглощения азота расплавом и уменьшению его содержания в продуктом расплаве.

Представленные исполнения изобретения не исключают и другие возможные исполнения в объеме формулы.

Устройство работает следующим образом.

При верхней продувке расплава в конвертере через вертикальную газокислородную водоохлаждаемую фурму поток окислительного газа поступает к наконечнику со скоростью $280-300$ м/с и проходит в конвертер через центральное сопло 4 и периферийные сопла 5. Проходя через однозаходную спиральную канавку

10, выполненную на внутренней поверхности расширяющегося участка (закритической части), по крайней мере, одного из периферийных сопел 5 Лаваля, и однозаходную спиральную канавку 9, выполненную на внутренней поверхности нижнего цилиндрического участка 6 центрального сопла 4, общая масса окислительного газа потока претерпевает закручивание как следствие возмущения газа к центральной части сопел 4, 5, обеспеченное указанным углом раскрытия канавок 9, 10. Закручивание общей массы окислительного газа генерирует на выходе стабилизированную спиралеобразную дозвуковую струю, истекающую из центрального сопла 4 в полость конвертера, и стабилизированную сверхзвуковую спиралеобразную струю, истекающую из каждого сопла 5 Лаваля, выполненного с канавкой 10, в полость конвертера, обладающих высокой дальностью и стационарным характером их взаимодействия с расплавом. Канавки 9, 10 влияют на параметры струи на выходе из сопел 4, 5, позволяют увеличивать скорость истечения струи окислительного газа и ее дальность, что обеспечивает высокую скорость обезуглероживания и шлакообразования и ведение продувки без выбросов. Правильно организованный режим продувки обеспечивает хорошую циркуляцию металла и его перемешивание со шлаком, что обеспечивает повышению скорости окисления. Спиралеобразная струя сохраняет высокий динамический напор на большей протяженности. Повышение степени рассредоточения дутья в рациональных пределах позволяет уменьшить потери металла с выбросами и выносами. Это является необходимым условием интенсификации продувки в конвертере.

Поток кислорода, поступающий в центральное сопло 4, проходит через его конусный участок 7 или через верхний цилиндрический участок 8 (при его наличии) и затем в конусный участок 7, получая там предварительное завихрение, поступает в нижний цилиндрический участок 6 со спиральной канавкой 9 на его внутренней поверхности. Проходя по канавке 9, поток кислорода движется по поступательно-вращательной траектории, закручивается, образуя на выходе из сопла 4 спиралеобразную струю, истекающую в полость конвертера с дозвуковой скоростью при давлении на выходе из сопла 4 в пределах 6,0-12,0 кг/см². Из соответствующих сопел 5 со сверхзвуковой скоростью истекает спиралеобразная струя с атмосферным давлением на выходе. В приосевую зону вихревого потока интенсивно засасывается окись углерода и эффективно дожигается во вращающемся спиралеобразном вихре. Внешнее поле вихревого потока также обладает повышенной эжекционной способностью, что обеспечивает интенсивное перемешивание окислителя с выделяющимся из реакционной зоны конвертерным газом и его дожигание непосредственно вблизи расплава. Спиралеобразная струя, истекающая из центрального сопла 4, имеет оптимально возможную (для определенного соотношения конструктивных размеров наконечника фурмы) поверхность массообмена с потоками восходящей окиси углерода, обладая при этом достаточной устойчивостью, что способствует эффективному дожиганию СО отходящих газов кислородом центральной струи. При этом вследствие дозвуковой скорости струи окислительного газа, истекающей из центрального сопла 4, происходит ее расширение, что способствует увеличению площади нижней тарелки, защищаемой от зоны дожигания СО до СО₂. Уменьшается количество выбросов и выносов капель расплава из конвертера, что приводит к повышению выхода стали.

Поток кислорода, поступающий к периферийным соплам 5 Лаваля, выполненным с однозаходной спиральной канавкой 10 на их внутренней поверхности, проходит через направляющий виток нарезки, ускоряется в ней с завихрением и истекает в виде сверхзвуковой спиралеобразно закрученной струи в полость конвертера с низкоплотным окружающим пространством, раскрываясь в нем под углом 13-17°. «Умягчение» струи способствует ускорению шлакообразования, т.к. часть кислорода расходуется на образование окислов железа, а также обеспечивается перемешивание

верхних слоев шлаковой эмульсии и выделяется дополнительное количество тепла (за счет дожигания СО), необходимое для ускорения процесса шлакообразования, что важно при плавках с пониженной долей чугуна в шихте и в начальный период продувки, когда ванна относительно холодная. Уменьшает вероятность выбросов шлака и металла при вспенивании.

Поток окислительного газа, поступающий к периферийным соплам 5 Лавая, выполненным без спиральной канавки 10 на внутренней поверхности, ускоряется в них и истекает в виде сверхзвуковых струй в конвертер с низкоплотным окружающим пространством, раскрываясь в нем под углом 13-17°. Эти «жесткие» дальнобойные струи используются только для рафинирования расплава. При их взаимодействии с расплавом образуется реакционная зона, где интенсивно протекают реакции окисления углерода преимущественно до его окиси (СО), которая в струйном режиме барботажа всплывает в жидкой ванне и выделяется из нее преимущественно в подфурменной зоне.

Созданы опытные образцы наконечников.

В наконечнике газокислородной фурмы, состоящем из шести периферийных сопел 5 Лавая, расположенных симметрично относительно центральной оси фурмы, наклоненных под углом 15° к вертикали, и центрального сопла 4, была выполнена спиральная канавка 10 в трех соплах 5 Лавая и спиральная канавка 9 в центральном сопле 4 (опытный образец №1) и в шести соплах 5 Лавая и в центральном сопле 4 (опытный образец №2). Критический диаметр сопла Лавая составляет 40 мм. Выходной диаметр периферийного сопла Лавая составляет 57 мм. Диаметр нижнего (выходного) участка 6 центрального сопла 4 составляет 20 мм. Длина нижнего цилиндрического участка 6 центрального сопла 4 составляет 120 мм. Высота усеченного конусного участка 7 центрального сопла 4 составляет 17 мм, угол усечения конусного участка 7 составляет 15°.

Опытные образцы №1 и №2 были применены на 350 т конвертере.

В первый период продувки расход окислительного газа Q 1000-1100 м³/мин, во втором периоде 700-1050 м³/мин, в третьем периоде продувки (доводке) увеличивали расход окислительного газа 1000-1100 м³/мин.

После продувки опытными образцами №1 и №2 был проведен химический анализ металла. Сравнительные характеристики по результатам двух испытаний представлены в таблице (см. фиг. 7).

На опытных плавках с применением спиралеобразной канавки отмечена повышенная скорость наведения первичного шлака и уменьшение заметалливания элементов газоотводящего тракта.

На опытных плавках со спиралеобразной канавкой отмечена повышенная скорость наведения первичного шлака, что позволило:

- 1) увеличить среднюю интенсивность продувки плавков на 10-14 м³/мин, соответственно с 800 м³/мин до 810-814 м³/мин;
- 2) снизить продолжительность продувки с 23,2 мин до 22,5 мин;
- 3) снизить эффект заметалливания элементов газоотводящего тракта;
- 4) снизить удельные выбросы окиси углерода 0,48 и 0,26% (соответственно с 1,9 до 1,35 кг/т и до 1,37 кг/т);
- 5) снизить общее содержание железа в конвертерном шлаке на 0,31 и 0,17% (соответственно с 22 до 21,3%);
- 6) снизить угар железа в шлак на 0,88 кг/т (соответственно с 24,51 до 23,62 кг/т).

Предлагаемая фурма для продувки позволяет создавать по ходу плавки шлаки постоянной и высокой окисленности или более быстрое наведение первичного шлака, когда этого требует ход продувки. Ее использование позволит увеличить интенсивность подачи окислительного газа и сократить за счет этого длительность плавки, а также повысить выход качественного металла за счет уменьшения

выбросов. Позволяет повысить интенсивность и сократить время продувки, при этом уменьшить вынос пыли, выбросы и повысить стойкость наконечника и фурмы в целом. При использовании позволяет обеспечить требуемую степень «жестко-мягкого» дутья.

Формула изобретения

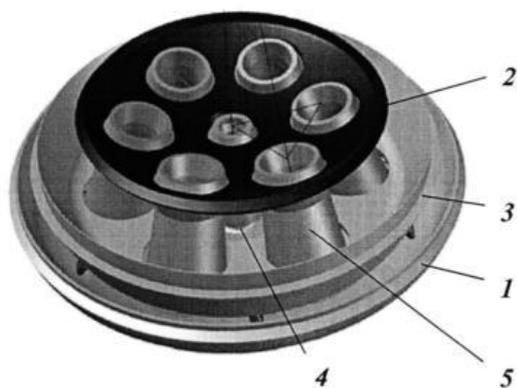
1. Наконечник газокислородной фурмы для продувки расплава окислительным газом в кислородном конвертере, содержащий периферийные сопла Лавала и центральное сопло, включающее нижний цилиндрический и верхний конический участки, отличающийся тем, что дополнительно в центральном сопле и по крайней мере в одном из периферийных сопел Лавала посредством однозаходной спиралеобразной нарезки выполнена канавка, глубина и ширина которой составляют 0,03-0,06 диаметра критического сечения сопла Лавала, а угол раскрытия - 20-50°, при этом канавка в центральном сопле образована на внутренней поверхности цилиндрического участка с шагом нарезки от 1/3 до 1/2 его длины, а канавка в соплах Лавала образована на внутренней поверхности расширяющегося участка с шагом нарезки, равным его длине.

2. Наконечник по п. 1, отличающийся тем, что в центральном сопле сверху дополнительно выполнен цилиндрический участок, длина и диаметр которого составляют 0,15-0,25 диаметра критического сечения сопла Лавала и 0,6-0,9 диаметра критического сечения сопла Лавала соответственно.

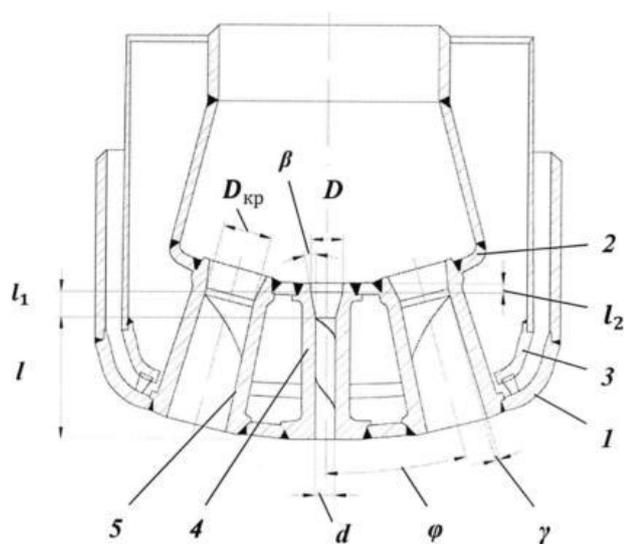
3. Наконечник по п. 1 или 2, отличающийся тем, что использованы расчетные сопла Лавала.

4. Наконечник по п. 1 или 2, отличающийся тем, что использованы нерасчетные сопла Лавала.

Наконечник газокислородной фурмы

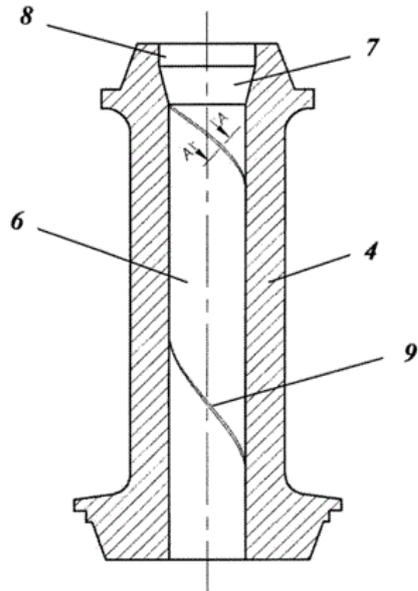


Фиг. 1

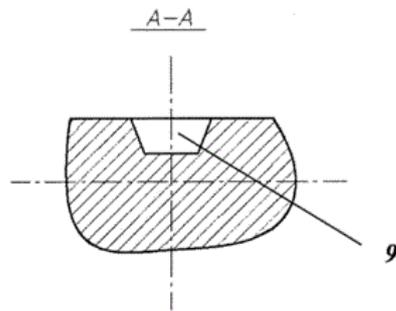


Фиг. 2

Наконечник газокислородной фурмы

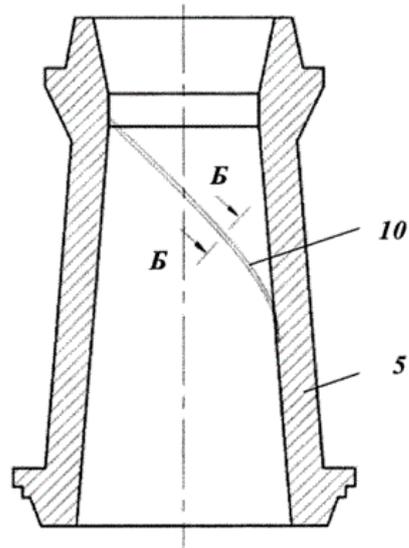


Фиг. 3

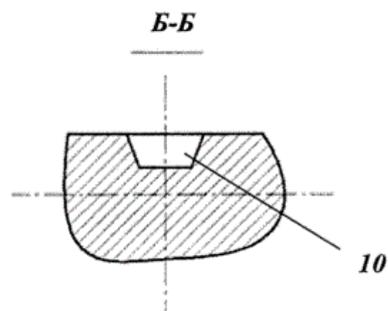


Фиг. 4

Наконечник газокислородной фурмы



Фиг. 5



Фиг. 6

Наконечник газокислородной фурмы

Таблица

Параметры	Опытный образец №1	Опытный образец №2	Серийно применяемые
Количество плавок, шт.	151	163	102
Интенсивность продувки ³ /мин	805-809	810-814	800
Продолжительность продувки, мин	22,7	22,5	23,2
Выбросы СО, кг/т	1,37	1,35	1,9
Угар железа в шлаке, кг/т	24,00	23,62	24,51
Содержание Fe в шлаке, %	21,5	21,3	22

Фиг. 7

ИЗВЕЩЕНИЯ

ТН4А Переиздание описаний изобретений к патентам

Причина переиздания: 1 (W1 C1) Коррекция в тексте описания изобретения

Дата публикации: [26.10.2017](#)