



УКРАЇНА

(19) UA (11) 78153 (13) C2
(51) МПК (2006)
C21C 5/48

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ФУРМА ДЛЯ ПРОДУВАННЯ РОЗПЛАВУ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМУ АГРЕГАТІ

1

2

(21) а200509740

(22) 17.10.2005

(24) 15.02.2007

(46) 15.02.2007, Бюл. № 2, 2007 р.

(72) Сущенко Андрій Вікторович, Лухтура Федір Іванович

(73) ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) SU, 1 014 917, А, 30.04.1983

SU, 1 694 656, А1, 30.11.1991

SU, 1 768 648, А1, 15.10.1992

UA, 5 123, С1, 28.12.1994

UA, 46 994, А, 17.06.2002

UA, 66 738, А, 17.05.2004

RU, 2 094 477, С1, 27.10.1997

RU, 2 177 509, С2, 27.12.2001

FR, 2 860 243, А1, 01.04.2005

US, 4 295 883, А, 20.10.1981

US, 5 865 876, А, 02.02.1999

JP, 59-096207, А, 02.06.1984

JP, 61-272308, А, 02.12.1986

Баптизмантий В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б.- Киев; Донецк: Вища шк., 1984. С.6-29, 283-294

Афанасьев С.Г. Краткий справочник конвертерщика.- М: Металлургия, 1967. С. 68-83

Старов Р.В., Нагорских В.А. Производство стали в конвертерах.- К.: Техніка, 1987. С. 12-18

Лухтура Ф.И. Одномерная теория сверхзвуковых нерасчетных струй газа./Известия РАН. Механика жидкости и газа.-1993, № 1. С.48-56

(57) 1. Фурма для продування розплаву в сталеплавильному агрегаті, яка містить концентрично розташовані труби, що створюють тракти для підведення окисника, підведення та відведення охолоджувача і багатосоплову головку з конічними соплами Лавалю, що мають конфузори, мінімальний переріз і дифузори з прямолінійними твірними та визначеним кутом розкриття дифузорові сопел, яка

відрізняється тим що, кут розкриття дифузорові сопел γ визначений із співвідношення:

$$\gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max},$$

$$\text{де } \gamma_{\min} = 20^\circ,$$

$$\gamma_{\max} = k_9 \left[\left(\frac{k+1}{k-1} \right)^{1/2} \arctg \left[\frac{k-1}{k+1} (M_j^2 - 1) \right] + \arcsin \frac{1}{M_j} - \frac{\pi}{2} \right] \frac{360}{\pi},$$

$$M_j = \left[\frac{2}{k-1} \left(\Pi_0 \frac{k-1}{k} - 1 \right) \right]^{1/2},$$

k_9 - емпіричний коефіцієнт, рівний 0,85-0,95,

k - показник адиабати кисню, що витікає, і $k = 1,4$,

$\Pi_0 = P_0 \cdot \sigma / P_\infty$ - наявний перепад тиску на соплах,

P_0 - повний тиск гальмування кисню перед соплами, Па,

σ - коефіцієнт відновлення повного тиску кисню в соплі,

P_∞ статичний тиск в навколишньому середовищі (в порожнині конвертера) на рівні зрізу сопла, Па.

2. Фурма для продування розплаву в сталеплавильному агрегаті за п. 1, яка відрізняється тим, що між конфузорові і дифузорові в соплах Лавалю виконані циліндричні канали, довжина яких визначена із співвідношення:

$$l_u/d_{\min} = 0,1-3,0,$$

де l_u - довжина циліндричних каналів, м, d_{\min} - діаметр мінімального перерізу сопел Лавалю, м.

3. Фурма за п. 1 або 2, яка відрізняється тим, що дифузори сопел мають додаткові циліндричні вихідні ділянки, довжина яких визначена із співвідношення:

$$l_b/d_{\min} = 0,05-0,2,$$

де l_b - довжина додаткових циліндричних вихідних ділянок дифузорові сопел, м, d_{\min} - діаметр мінімального перерізу сопел Лавалю, м.

Винахід відноситься до металургії, переважно до киснево-конвертерного виробництва сталі.

Відома киснева фурма для продування розплаву в конвертері зверху [1, стор.164], яка містить

концентрично розташовані труби, що створюють тракти для підведення окиснювача (кисню), підведення і відведення охолоджувача (води) і головку з одним конічним соплом Лавалю, яке має конфу-

(13) C2

(11) 78153

(19) UA

зор, мінімальний переріз і дифузор з прямолінійними твірними.

При цьому забезпечується ефективне охолодження головки фурми і, як наслідок, висока її стійкість.

Проте, при використуванні відомої фурми не забезпечується необхідний ступінь розосередження дуття по поверхні конвертерної ванни: величина відносної площі $\bar{F}_{p3} = F_{p3}/F_B$ (де F_{p3}, F_B - площі поперечних перерізів сумарної реакційної зони і конвертерної ванни відповідно) істотно менша за оптимальну. Має місце неефективне «жорстке» продування ванни і незадовільне шлакоутворення, що призводить до заметалювання обладнання, погіршенню якості сталі, що виплавляється, теплового балансу та техніко-економічних показників плавки. Для того, щоб зменшити до необхідного значення відносну глибину проникнення струменя дуття у ванну $\bar{H}_{p3} = H_{p3}/H_B$ (де H_{p3}, H_B - глибина реакційної зони і ванни металу відповідно) необхідно підтримувати надмірно високі значення висоти фурми над ванною H_F , що призводить до посилення зношення футеровки конвертера.

Відома фурма для продування розплаву в конвертері зверху [2, стор.74], яка містить концентричне розташовані труби, що створюють тракти для підведення окиснювача (кисню), підведення і відведення охолоджувача (води) і головку з одним соплом, яке має багатолопастову спіралевидну пластинчасту вставку для закручування і розділення потоку кисню.

При цьому забезпечується витікання з одного сопла декількох (3÷6) кисневих струменів під невеликим кутом до вертикальної осі фурми і дещо збільшується \bar{F}_{p3} та ступінь розосередження дуття по поверхні ванни.

Проте, унаслідок неминучої взаємодії і часткового злиття кисневих струменів, що витікають із відомої фурми, величина \bar{F}_{p3} не досягає оптимальних значень і режим продування залишається близьким до «жорсткого». Крім того, спіралевидна вставка не має достатньо ефективного водяного охолодження, швидко оплавляється і виходить з ладу. При цьому виходить з ладу і сама фурма.

Відома фурма для продування розплаву в конвертері зверху [3, стор.12-13] - прототип, яка містить концентричне розташовані труби, що створюють тракти для підведення окислювача (кисню), підведення і відведення охолоджувача (води) і багатосоплову головку з конічними соплами Лаваля, що мають конфузори, мінімальний переріз і дифузори з прямолінійними твірними з кутом розкриття $\gamma = (5 \div 10)^\circ$.

При цьому за рахунок зміни (вибору оптимального значення) числа сопел в головці - n , розташованих під певним кутом α до осі фурми (звичайно α знаходиться в межах $(15 \div 20)^\circ$ [3, стор.13]) можна отримати практично будь-яке поєднання необхідних (заданих) значень \bar{F}_{p3} і \bar{H}_{p3} . Це дозволяє забезпечити необхідний режим продування, тобто ступінь «жорсткості» дуття, яка визначається в першу чергу питомим імпульсом дуттьових струменів в місці їх зустрічі з металевою ванною

$\bar{I}_x = I_x / F_x$ (Па), де I_x - надмірний імпульс дуттьових струменів в місці зустрічі з ванною, F_x - площа поверхні ванни в зоні контакту з дуттьовими струменями, m^2 .

Проте, при використуванні відомої фурми для забезпечення «зм'якшеного» продування конвертерної ванни (у випадках «гарячих» шихтових плавки, переділу чавунів з низьким вмістом Mn, погіршення якості вапна, дефіциту або необхідності економії плавикового шпату, реалізації малошлакової технології виплавки сталі і т.п.) вимагається, як правило, збільшення числа сопел в головці до 6÷8 і більш. Це істотно погіршує ефективність охолодження головки фурми і знижує її стійкість унаслідок зменшення площі перерізів для проходження охолоджувача між соплами і збільшення кількості торцевих зварних швів (при використуванні зварної конструкції головки). Крім того, при цьому ускладнюється виготовлення, збільшується матеріаломісткість і вартість мідних головок. При використуванні конічних сопел Лаваля з кутом розкриття дифузора $\gamma = (5 \div 10)^\circ$ має місце обмежений діапазон стабільної (безвідривної) роботи сопел фурми по величині тиску кисню перед соплами і ступеня нерозрахунковості витікання струменів - n . При $n \leq 1$ починається відриг потоку від стін дифузоров сопел, що призводить до «розгару» (ерозії) вихідних ділянок останніх, зниженню стійкості головок фурм і дестабілізації дуттьового режиму плавки. Тому при використуванні відомої фурми продування ведуть в режимі недорозширення струменів (при $n = 1,3-2,0$), що призводить до додаткових втрат енергії дуття (на стрибках згущення) і зниженню ефективності продування (неповному використуванню потенційної енергії тиску дуття для збільшення кінетичної енергії струменів і потужності перемішування ванни).

В основу винаходу поставлена задача удосконалити фурму для продування розплаву в конвертері зверху, в якій за рахунок оптимізації значення кута розкриття дифузоров сопел забезпечується витікання кисневих струменів із збільшеними діаметром першої «бочки» і радіальної складової швидкості витікання, що дозволить підвищити ефективність продування конвертерної ванни, збільшити стійкість, спростити виготовлення і понизити матеріаломісткість головки фурми та, як наслідок, зменшити собівартість сталі, що виплавляється, (за рахунок зменшення питомих витрат металопорошків, шлакоутворюючих матеріалів, кисню, феросплавів та розкиснювачів, вогнетривів), поліпшити її якість і підвищити продуктивність агрегатів (кисневих конвертерів).

Рішення поставленої задачі досягається за рахунок того, що у фурмі для продування розплаву в сталеплавильному агрегаті зверху, яка містить концентричне розташовані труби, що створюють тракти для підведення окисника, підведення і відведення охолоджувача і багатосоплову головку з конічними соплами Лаваля, які мають конфузори, мінімальний переріз і дифузори з прямолінійними твірними, кут розкриття дифузоров сопел γ визначений із співвідношення:

$$\gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max} \quad (1)$$

де $\gamma_{\min} = 20^\circ$;

$$\gamma_{\max} = k_3 \left[\left(\frac{k+1}{k-1} \right)^{1/2} \operatorname{arctg} \left[\frac{k-1}{k+1} (M_j^2 - 1) \right] + \arcsin \frac{1}{M_j} - \frac{\pi}{2} \right] \frac{360}{\pi} \quad (2)$$

$$M_j = \left[\frac{2}{k-1} \left(P_0 \frac{k-1}{k} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

k_3 - емпіричний коефіцієнт, рівний $0,85 \div 0,95$;
 k - показник адиабати газу, що витікає (для кисню $k=1,4$),

$P_0 = P_0 \cdot \sigma / P_\infty$ - наявний перепад тиску на соплах,
 P_0 - повний тиск гальмування кисню перед соплами, Па,

σ - коефіцієнт відновлення повного тиску кисню в соплі,

P_∞ - статичний тиск в навколишньому середовищі (в порожнині конвертера) на рівні зрізу сопла. Па.

Крім того, між конфузоровим і дифузоровим соплом Лавалю виконані циліндричні канали, довжина яких визначена із співвідношення

$$l_c / d_{\min} = 0,1 - 3,0 \quad (4)$$

де l_c - довжина циліндричних каналів, м;
 d_{\min} - діаметр мінімального перерізу сопел Лавалю, м.

Крім того, дифузори сопел мають додаткові циліндричні вихідні ділянки, довжина яких визначена із співвідношення

$$l_b / d_{\min} = 0,05 - 0,2 \quad (5)$$

де l_b - довжина додаткових циліндричних вихідних ділянок дифузорових сопел, м.

При виконанні конічних сопел Лавалю головки фурми з кутом розкриття дифузора γ , який знаходиться в діапазоні значень ($\gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max}$) має місце істотно відмінний характер витікання дуттьових струменів в порівнянні з використанням форми-прототипу з $\gamma = 5 \div 10^\circ$. Це пов'язано з тим, що при малих значеннях γ (менше $15 \div 20^\circ$) вплив радіальної складової швидкості витікання дуття із сопла на основні параметри струменя незначний, у тому числі на її імпульс і діаметр першої «бочки» (або діаметр ефективного ізобарного перерізу $d_{\text{эф}}$, відповідний повному розширенню струменя), який істотним чином впливає на характеристики (власності) струменя в місці зустрічі його з ванною і, як наслідок, режим продування плавки в цілому. При γ більш $20 \div 25^\circ$ помітно збільшується радіальна складова швидкості витікання дуття, що призводить з одного боку до додаткового збільшення діаметра першої бочки ($d_{\text{эф}}$), а з другого - до додаткового зменшення поздовжньої складової імпульсу струменів, що витікають, $i_{\text{стр}}$. В цілому ж питомий імпульс струменя в ефективному перерізі (віднесений до площі $F_{\text{эф}}$) істотно знижується. Це, у свою чергу, призводить до збільшення F_x і зменшення \bar{t}_x і, як наслідок, до ефекту «зм'якшування» продування сталеплавильної ванни, що адекватно збільшенню числа сопел при використуванні фурми-прототипу. Таким чином, застосування запропонованого технічного рішення дозволяє забезпечити необхідний ступінь «жорсткості» (ступінь «м'якості») дуття при використуванні меншого числа сопел в наконечнику фурми в порівнянні з прототипом. Це дозволяє спростити конструкцію головки фурми, полегшити її виготовлення, понизити матеріаломісткість (по міді) і істо-

тно збільшити її стійкість за рахунок збільшення площі перерізів для проходу охолоджувача між соплами.

Суть винаходу зображена на Фіг.1-8, де на Фіг.1, 2, 3 подані поздовжні розрізи фурм по пунктах 1, 2 і 3 формули винаходу відповідно; на Фіг.4 наведена залежність косинуса середньомасового кута нахилу вектора швидкості струменя у вихідному перерізі сопла від кута розкриття дифузора конічного сопла Лавалю; на Фіг.5, 6, 7 наведені залежності відносного діаметра струменя в ефективному перерізі від кута розкриття (розчину) дифузора сопла при різних числах Маху сопла та при різних ступенях нерозрахунковості витікання струменів; на Фіг.8 наведені залежності ступеня нерозрахунковості початку відриву потоку від стін сопла від кута розкриття дифузора сопла при різних числах Маху сопла.

На Фіг.4 наведена залежність косинуса середньомасового кута нахилу вектора швидкості струменя у вихідному перерізі сопла $\cos \alpha$ [4] (що визначає поздовжню складову імпульсу струменя) від кута розкриття дифузора конічного сопла Лавалю. На Фіг.5-7 наведені залежності відносного діаметра струменя в ефективному перерізі $\bar{d}_{\text{эф}} = d_{\text{эф}} / d_{\text{эф}0}$ (де $d_{\text{эф}0}$ - діаметр ефективного перерізу струменя при куті розкриття дифузора сопла, рівному нулю; у випадку $n=1$ величина $d_{\text{эф}0}$ у співпадає з величиною вихідного діаметра сопла d_a) від кута розкриття (розчину) дифузора сопла при різних числах Маху сопла M_a (в діапазоні, який використовується в металургійній практиці $M_a=1,5-2,5$) і при різних ступенях нерозрахунковості p витікання струменів.

З даних Фіг.4-7 витікає, що величина γ_{\min} складає $\approx 15 \div 20^\circ$. Якщо $\gamma < \gamma_{\min}$ то має місце слабкий вплив величини γ на $\bar{d}_{\text{эф}}$ і $\cos \alpha$ тамаді значення параметрів $d_{\text{эф}}$, d_x , F_x , \bar{F}_{p3} , тобто слабкий вплив величини γ на дуттьовий режим конвертерної плавки в цілому.

Величина γ тах визначається максимальним кутом розвороту потоку дуття в соплі (при заданому тиску перед ним) та описується залежністю (2). При цьому параметр k_3 урахуває конструктивні особливості та якості виготовлення проточної частини сопла. Якщо $\gamma > \gamma_{\max}$, то має місце відрив потоку від стін дифузора в соплах, різко посилюється «розгар» останніх та, як наслідок, знижується стійкість фурми і дестабілізується режим плавки.

Крім того, при використуванні в головці фурми конічних сопел Лавалю з кутом розкриття дифузора γ , який знаходиться в заявленому діапазоні значень ($\gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max}$), процес продування протікає більш стабільно. Це пов'язано з тим, що при збільшенні діаметра першої «бочки», а також радіальної складової швидкості витікання струменя дуття положення кореня струменя є більш стійким до зовнішніх збурень (менше амплітуда і частота автоколивань струменя). При цьому також істотно розширюється діапазон значень p ступеня нерозрахунковості по безвідривній роботі сопла (при пониженні p аж до $0,6-0,7$ при значеннях чисел Маху сопел $M_a=1,5-2,5$, що використовуються у металургійній практиці) - див. Фіг.8, на якій

наведені залежності ступеня нерозрахунковості на початку відриву потоку газу від стін сопла від кута розкриття дифузора сопла у при різних M_a . Це призводить, з одного боку, до збільшення стійкості сопел до ерозійного зношення і фурм в цілому, а, з іншого - до підвищення ефективності продування плавки унаслідок кращої організації кисневих струменів в робочому просторі агрегату і зниження втрат енергії дуття, пов'язаних з «деформацією» вихідних ділянок сопел і виникненням відривних течій. Це дозволяє також проводити продування плавки в оптимальній області по n - поблизу розрахункового режиму витікання струменів (при $n=0,8 \div 1,2$), що призводить до мінімізації втрат потенційної енергії тиску потоку в соплі і підвищенню ефективності продування сталеплавильної ванни. Збільшений діаметр першої «бочки» дозволяє додатково захистити вихідну кромку сопла і присоплову область головки (наконечника) фурми від попадання бризок металу і шлаку, що сприяє підвищенню стійкості вихідних кромок сопел і наконечника фурми. Крім того, при використуванні сопел з кутом розкриття дифузоров, який знаходиться в заявленому діапазоні ($\gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max}$) має місце (за інших рівних умов) значно менша довжина дифузора (самої високошвидкісної ділянки) сопла, що призводить до зменшення втрат тиску дуття в соплах та, як наслідок, до підвищення ефективності продування.

Виконання в соплах Лавалля між конфузоров і дифузоров з кутом розкриття γ , що визначається із співвідношення (1), циліндричного каналу з довжиною, що визначається із співвідношення (4), дозволяє: по-перше, варіювати в широких межах довжиною сопла, а внаслідок і висотою головки фурми (відповідно до конструктивних особливостей останньої), а по друге - додатково стабілізувати процес витікання кисневих струменів і зменшити втрати енергії потоку дуття в соплах за рахунок створення більш рівномірного поперечного профілю швидкості на ділянці сопла з циліндричним каналом. Крім того, при цьому істотно слабшають вимоги до конфігурації дифузоров сопел і спрощується виготовлення фурми.

При цьому, якщо $I_{\text{ц}}/d_{\min} < 0,1$, то ускладнюється виготовлення сопел з необхідною точністю і практично відсутній ефект вирівнювання профілю швидкості в поперечному перерізу потоку на циліндричній ділянці сопла. Якщо $I_{\text{ц}}/d_{\min} > 2,5 \div 3$ істотно збільшуються втрати тиску потоку дуття на ділянці циліндричного каналу сопла, надмірно збільшується висота головки фурми, що ускладнює її охолодження за рахунок організації течії води.

Виконання в соплах Лавалля додаткових циліндричних вихідних ділянок, довжина яких визначена із співвідношення (5), дозволяє додатково збільшити стійкість течії із сопла до відриву (за рахунок ефекту «підтискання» потоку до стін сопла) і зменшити радіаційний тепловий потік на внутрішню поверхню вихідної ділянки сопла від високотемпературної реакційної зони (за рахунок зменшення кутового коефіцієнта випромінювання). Це сприяє збільшенню стійкості вихідної ділянки сопел і фурми в цілому до абразивної, теплової і хімічної ерозії.

Якщо $I_{\text{ц}}/d_{\min} < 0,05$, то ускладнюється виготовлення сопел з необхідною точністю і практично не спостерігається вплив вихідної циліндричної ділянки на стійкість течії із сопла до відриву. Якщо $I_{\text{в}}/d_{\min} > 0,2$, то має місце помітне зниження радіальної складової швидкості, величини діаметра $d_{\text{эф}}$ і зменшення ефекту зм'якшування струменя.

Фурма для продування розплаву в сталеплавильному агрегаті (див. Фіг.1-3) містить концентричне розташовані труби 1, що створюють тракти підведення окиснювача (кисню) 2, підведення 3 і відведення 4 охолоджувача (води) і багатосоплову головку 5 з конічними соплами Лавалля 6, які мають конфузор 7 (з довжиною l_k), мінімальний переріз 8 і дифузор 9 (з довжиною l_d) з прямолінійними твірними 10, причому кут розкриття дифузоров сопел γ визначений із співвідношень (1)-(3) - див. Фіг.1.

Між конфузоров 7 і дифузоров 9 сопел Лавалля можуть бути виконані циліндричні канали 11, довжина яких (L) визначена із співвідношення (4) - див. Фіг.2.

Дифузори 9 сопел Лавалля можуть мати додаткові циліндричні вихідні ділянки 12, довжина яких (l_v) визначена із співвідношення (5) - див. Фіг.3.

Пристрій працює таким чином (див. Фіг.1). Охолоджуюча вода подається по тракту 3 до головки фурми 5, циркулює в ній, проходячи міжсопловий простір і відводиться з фурми по тракту 4. Кисень подається по тракту 2 до багатосоплової головки 5. Проходячи через конфузори 7 сопел 6 він швидко до критичної швидкості поблизу мінімального перерізу сопел 8, а проходячи далі через дифузори 9 (з кутом розкриття γ , який знаходиться в заявленому діапазоні) - до надзвукової швидкості, що визначається числом Маху сопла M_a і забезпеченням відповідного тиску перед соплами p_0 , і витікає із сопел у вигляді надзвукових струменів 13, які мають істотно збільшений діаметр ефективного (ізобарного) перерізу $d_{\text{эф}}$ 14. При цьому процес витікання дуттьових струменів характеризується стійким положенням кореня струменя, відсутністю відривних течій у вихідній ділянці сопел і малими втратами потенційної енергії тиску дуттьового потоку в соплах, що забезпечує стабілізацію і підвищення ефективності продування сталеплавильної ванни, високу стійкість сопел до ерозійного зношення і фурми в цілому.

Оскільки при цьому задані значення основних режимних параметрів продування $\bar{n}_{\text{рз}}$, $\bar{p}_{\text{рз}}$ та ін. забезпечуються мінімальним числом сопел в головці фурми, то зменшується матеріаломісткість (по міді) фурми, поліпшується охолодження головки, збільшується стійкість і знижується її собівартість.

При виконанні в соплах 6 фурми (див. Фіг.2) циліндричних каналів 11 з довжиною, яка знаходиться в заявленому діапазоні, в потоці дуття при переході з конфузору 7 в дифузор 9 в циліндричних каналах 11 забезпечується більш рівномірний розподіл звукової швидкості по перерізу на вході в дифузор, що додатково стабілізує режим витікання струменів із сопел та зменшує втрати тиску дуття в соплах.

При виконанні в соплах 6 фурми (див. Фіг.3) дифузоров 9 з додатковими циліндричними вихід-

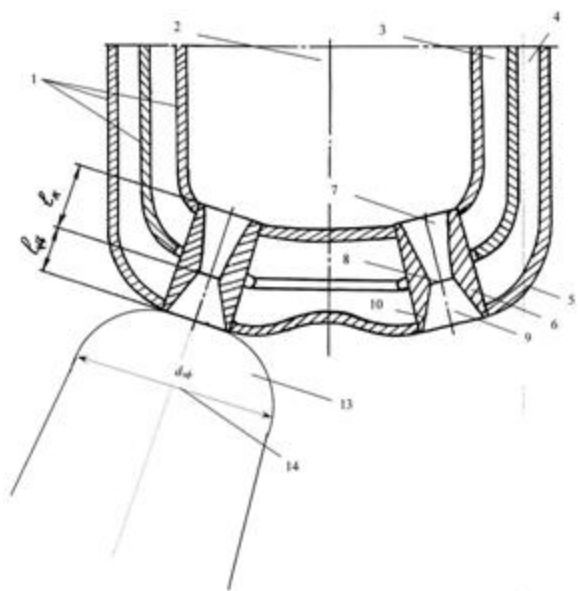
ними ділянками 12 з довжиною, яка знаходиться в заявленому діапазоні, додатково підвищується стійкість потоку, що витікає, до відриву і зменшується тепловий потік на внутрішню поверхню сопла, що призводить до стабілізації процесу продування і підвищення стійкості фурми.

Використання фурми для продування розплаву в сталеплавильному агрегаті вказаної конструкції за рахунок оптимізації кута розкриття дифузорові сопел і забезпечення витікання кисневих струменів із збільшеними діаметром першої «бочки» (ефективного перерізу) і радіальної складової швидкості витікання, дозволить підвищити ефективність продування сталеплавильної ванни, збільшити стійкість, спростити виготовлення і понизити матеріаломісткість головки фурми і, як наслідок, зменшити собівартість сталі, що виплав-

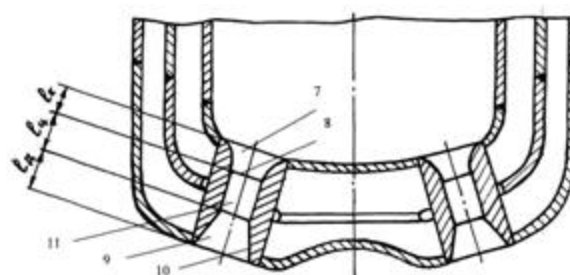
ляється, (за рахунок зменшення питомих витрат металошхти, шлакоутворюючих матеріалів, кисню, феросплавів та розкиснювачів, вогнетривів), поліпшити її якість і підвищити продуктивність агрегатів (кисневих конвертерів).

Джерела інформації

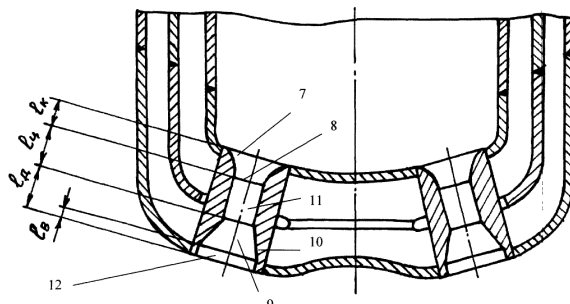
1. Баптизмандский В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б. Конвертерные процессы производства стали. Теория, технология, конструкции агрегатов. - Киев; Донецк: Вища шк., 1984.-343с.
2. Афанасьев С.Г. Краткий справочник конверторщика. - М: Металлургия, 1967.
3. Старой Р.В., Нагорских В.А. Производство стали в конвертерах. - К.: Техніка, 1987.-167с.
4. Лухтура Ф.И. Одномерная теория сверхзвуковых нерасчетных струй газа. -Известия РАН. Механика жидкости и газа. - 1993, №1. - С.48-56.



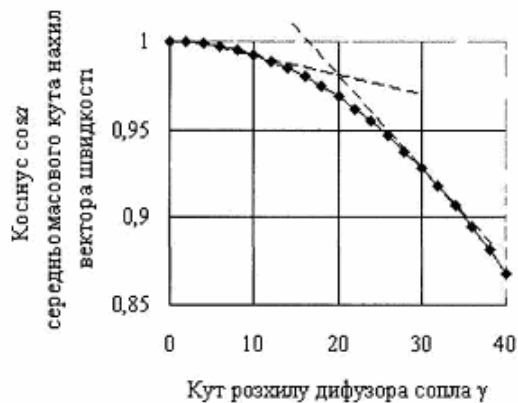
Фиг. 1



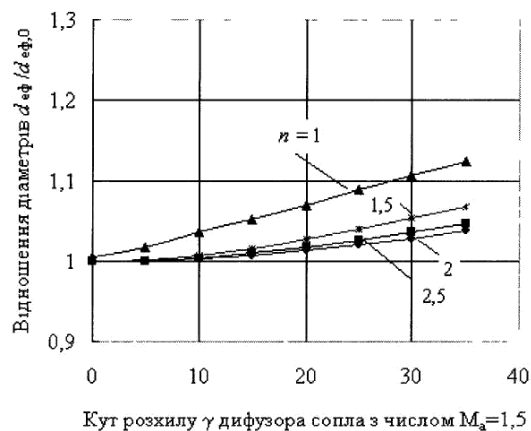
Фиг. 2



Фиг. 3

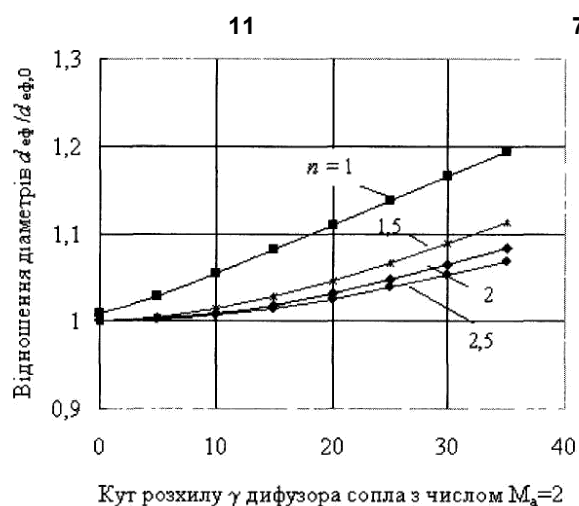


Фиг. 4

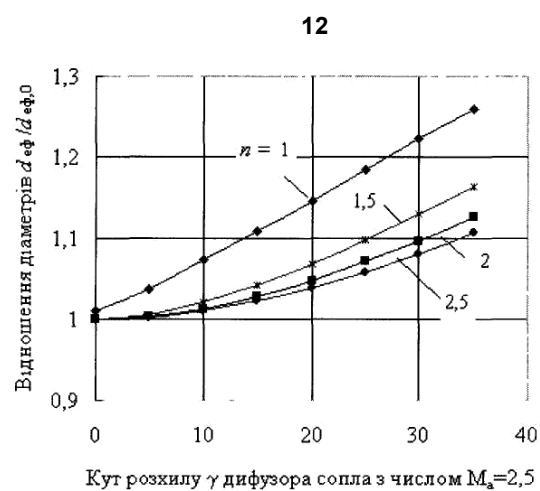


Кут розхилу γ дифузора сопла з числом $M_0=1,5$

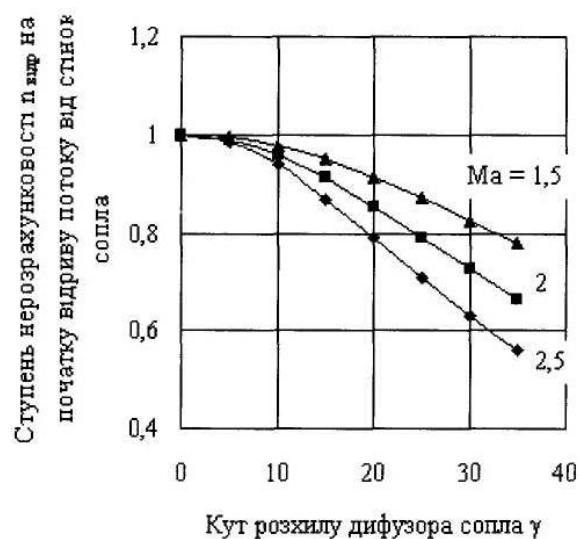
Фиг. 5



Фиг.6



Фиг.7



Фиг.8