

УДК 669.184.244

doi:

Юшкевич П. О., Юшкевич О. П.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОДУВНИХ БЛОКІВ ДЛЯ ОДНОЯРУСНИХ ТА БАГАТОЯРУСНИХ ФУРМ

Верхні фурми є одними з основних пристроїв для організації ефективної продувки розплаву та отримання якісного металевого напівпродукту у кисневому конвертері. На сьогодні відсутні опубліковані роботи, що дозволяють повністю охарактеризувати основні конструктивні параметри продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм, що ускладнює підхід до їх розробки та проектування, а також може призводити до прийняття помилкових рішень. Тому метою стало створення уявлень, щодо основних конструктивних параметрів продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм з наданням характеристики їх впливу на хід та ефективність продувки розплаву.

Встановлено, що для проектування (класичних) одноярусних фурм перш за все важливо визначити конструктивні параметри наконечнику ($n_l; \alpha; \varphi; d_{вх}; d_{вих}; d_{кр}; l_0; l_3$). У випадку розробки раціональних конструкцій багатоярусних фурм окрім наконечника, що є головним дутьовим блоком необхідно також встановити параметри додаткових продувних блоків їх кількість та позицією розташування на стовбурі фурм ($n_{ц}^n; \alpha_{ц}^n; \varphi_{ц}^n; d_{ц}^n; l_{ц}^n; N_{нб}; H_{нб}^n$).

Визначено, що забезпечення ефективного режиму продувки конвертерної ванни з уникненням розгару наконечника фурми та явища рекомпресії у результаті зносу вихідних ділянок сопел можливо шляхом проектування укорочених сопел Лаваля, геометричні розміри яких розраховуються не на точно задану величину тиску P та витрату q газу, а на деякий інтервал тиску від P_{min} до P_{max} та витрату газу від q_{min} до q_{max} на вході у докритичну частину сопла Лаваля.

Від вдалого комбонування основних конструктивних параметрів продувних блоків верхньої фурми на підставі проведення розрахунків за вірно підібраними методиками та рівняннями залежить ефективність процесу конвертування розплаву у цілому, експлуатаційний строк фурми й кисневого-конвертерного обладнання, якість та вихід придатного металевого напівпродукту.

Ключові слова: конвертер, багатоярусна фурма, одноярусна фурма, продувні блоки, основні конструктивні параметри.

Постановка проблеми.

Верхні фурми є одними з основних пристроїв для організації ефективної продувки розплаву та отримання якісного металевого напівпродукту у кисневому конвертері. Тому важливим питанням є проектування верхніх фурм з повним розрахунком основних конструктивних параметрів продувних блоків, що дозволить раціоналізувати конструкцію під певні технологічні умови киснево-конвертерного виробництва кожного Національного металургійного підприємства України з урахуванням наявної сировинної бази та техніко-економічних показників.

Однак треба відзначити, що на сьогодні відсутні опубліковані роботи, що дозволяють повністю охарактеризувати основні конструктивні параметри продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм, що ускладнює підхід до їх розробки та проектування, а також може призводити до прийняття помилкових рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанню розробки конструкцій одноярусних [1-3, 7] та багатоярусних [4-6] фурм, продувних блоків [2, 7, 8], а також напрямкам їх вдосконалення та модифікації присвячено ряд робіт, до яких відносяться [1-9]. Переважно у цих роботах надаються свідчення, щодо вже готових конструктивних рішень верхньої одноярусної або багатоярусної фурми, чи їх продувних блоків, що розроблені під технологічні умови конкретного кисневого конвертеру одного з ведучих металургійних підприємств, наводяться рекомендації, щодо до їх експлуатації та режимів роботи, типові креслення, технічні та технологічні параметри, а також техніко-економічні показники плавок з їх застосуванням, отримані під час проведених лабораторно-експериментальних або дослідно-промислових компаній. Завдяки чому можливо отримати уявлення, щодо напрямків розвитку та ефективності пропозицій нових конструкцій верхніх фурм з урахуванням сучасних умов сировинної бази та особливостей роботи киснево-конвертерних цехів.

Незважаючи на це, нажаль майже відсутні роботи, які дозволяють охарактеризувати, а також скласти повне уявлення відносно того, що саме становить основні конструктивні параметри продувних блоків верхніх одноярусних та багатоярусних фурм, а також як впливає зміна цих параметрів на ефективність перебігу продувки розплаву у ванні кисневого конвертеру, якість отриманого металевого напівпродукту. Треба відзначити, що з ряду розглянутих робіт до яких, також відносяться [1-9], така певна характеристика основних конструктивних параметрів одноярусних фурм надана у роботах [7, 8], однак для параметрів багатоярусних на сьогодні вона відсутня.

Мета дослідження.

Створити уявлення відносно основних конструктивних параметрів продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм, охарактеризувати їх вплив на перебіг та ефективність продувки розплаву.

Основний матеріал дослідження.

Питання основних конструктивних параметрів продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм є важливим, тому, що саме від них залежить організація продувки конвертерної ванни та ряд техніко-економічних показників процесу безпосередньо пов'язаних з ефективністю отримання та якістю металевого напівпродукту [1-9].

Для проектування (класичних) одноярусних верхніх фурм перш за все необхідно визначити основні конструктивні параметри наконечнику. У випадку розробки конструкцій багатоярусних фурм окрім параметрів наконечника, що є головним продувним блоком необхідно також встановити основні конструктивні параметри додаткових продувних блоків їх кількість та позицію розташування на стовбурі фурми.

Відповідно до аналізу робіт [1-9] основними конструктивними параметрами наконечнику (головного продувного блоку) фурми є:

- n_d - кількість основних сопел Лавалю у наконечнику фурми, шт.;
- α - кут нахилу сопел Лавалю у наконечнику до вертикальної осі фурми, °;
- φ - кут у плані між осями сусідніх сопел Лавалю у наконечнику фурми °;

Металургія

- $d_{вх}$ - вхідний діаметр сопла Лаваля у наконечнику фурми, м;
- $d_{вих}$ - вихідний діаметр сопла Лаваля у наконечнику фурми, м;
- $d_{кр}$ - критичний діаметр сопла Лаваля у наконечнику фурми, м;
- l_0 - докритична довжина сопла Лаваля (конфузора) у наконечнику фурми, м;
- l_3 - закритична довжина сопла Лаваля (дифузора) у наконечнику фурми, м.

Основними конструктивними параметрами додаткових продувних блоків для проектування багатоярусної фурми є:

- n_n^n - кількість циліндричних сопел у n -му додатковому продувному блоці, шт;
- α_n^n - кут нахилу циліндричних сопел у n -му додатковому продувному блоці до вертикальної осі фурми, °;
- φ_n^n - кут між осями сусідніх циліндричних сопел у n -му додатковому продувному блоці, °;
- d_n^n - діаметр циліндричного сопла у n -му додатковому продувному блоці, м;
- l_n^n - довжина циліндричного сопла у n -му додатковому продувному блоці, м;
- $N_{nб}$ - кількість додаткових продувних блоків у багатоярусній фурмі, шт;
- $H_{nб}^n$ - висота розташування n -го продувного блоку відносно торця головки багатоярусної фурми, м.

Визначившись з основними конструктивними параметрами продувних блоків однарусних та багатоярусних фурм, надамо їх характеристику. Кількість сопел у наконечнику фурми n_d разом з їх критичним діаметром $d_{кр}$ є одними з основних факторів, що обмежують витрату кисню через наконечник фурми. Зазвичай n_d визначається з урахуванням витрати основного кисню $q_{осн}^{O_2}$ від загальної $q_{заг}^{O_2}$ у випадку багатоярусної фурми або загальної для однарусної, геометричних розмірів конвертеру та його садки [7, 8]. Відомо, що збільшення кількості сопел Лаваля у головці фурми сприяє покращенню гідрогазодинамічних процесів, перемішуванню у ванні та шлакоутворенню, видаленню фосфору, але також може спостерігатися переокислення металу та шлаку, надмірне спінення шлакометалевої емульсії з розвитком переливів розплаву у ході продувки [1-9]. Також надмірна кількість сопел призводить до суттєвого ускладнення конструкції фурми та її обслуговування, сприяє зменшенню стійкості наконечнику фурми (головного продувного блоку).

У випадку малої кількості сопел Лаваля зростає жорсткість дугтя, спостерігається зниження окисленості металу та шлаку, однак можуть зрости час та погіршитися умови шлакоутворення, що призведе до зниження ефективності видалення фосфору, розвитку викидів металевого розплаву та виносу крапель металу з зони взаємодії кисневих струменів з поверхнею ванни, інтенсифікації заметалювання фурми та зниження у результаті цього виходу придатного металевого напівпродукту, погіршення його якості [1-9]. Тому важливим під час проектування фурми є визначення раціональної кількості сопел у наконечнику фурми.

Кількість циліндричних сопел $n_{\text{ц}}^n$ у n -му додатковому продувному блоці багатоярусної фурми визначається з урахуванням витрати додаткового кисню $q_{\text{дод}}^{O_2}$ від загальної $q_{\text{заг}}^{O_2}$ на фурму. Збільшення кількості циліндричних сопел у додатковому продувному блоці дозволяє організувати щільну завісу, (за якої допускається контакт зовнішніх меж сусідніх звукових кисневих струменів), над зоною взаємодії надзвукових кисневих струменів з поверхнею ванни, що може повністю перекривати навколофурменний простір на відстані поширення звукових струменів. Створення такої щільної завіси за умови витікання в вільний простір конвертеру струменів дозволяє переважно перекрити потенційні місця виходу конвертерних газів, забезпечити підвищення ефективності допалювання CO до CO₂, сприяти осаджуванню нано- та мікродрібних частинок у вигляді пилу [4-6].

У випадку поширення завіси звукових струменів у межах шлакометалевої емульсії спостерігається утворення додаткових зон взаємодії, забезпечується інтенсифікація шлакоутворення, гідрогазодинамічних та тепломасообмінних процесів в поверхневих шарах розплаву, з'являється можливість для керування рівнем шлакометалевої емульсії. Мала кількість циліндричних сопел $n_{\text{ц}}^n$ переважно призводить до роздільного поширення окремих звукових кисневих струменів над зоною взаємодії надзвукових кисневих струменів з поверхнею ванни, погіршує умови перекриття навколофурменної зони та відповідно потенційних місць виходу конвертерних газів, виносу пилу.

Нераціональна кількість циліндричних сопел $n_{\text{ц}}^n$ та витрати додаткового кисню $q_{\text{дод}}^{O_2}$ може призводити до неправильного розподілення дугтя між різними зонами робочого простору конвертера під час продувки розплаву, сприяти формуванню переокисленого шлаку, розвитку переливів та викидів шлакометалевої емульсії у ході продувки, зниженню виходу придатного металевго напівпродукту, стійкості футерівки, заметалюванню киснево-конвертерного обладнання, фурми [4-6].

Кути нахилу сопел до вертикальної осі фурми α , $\alpha_{\text{ц}}^n$ також є важливими критеріями. За малого показника α кута нахилу сопел Лавалю до вертикальної осі фурми відбувається злиття окремих струменів та формування єдиної зони взаємодії, спостерігається глибоке проникнення струменів у розплав, це сприяє більшому засвоєнню кисню металом, але може призводити до погіршення умов шлакоутворення, розвитку сплесків та викидів металу, явища пробійного режиму продувки, коли глибина проникнення струменів досягає футерівки днища конвертера, що призведе до високотемпературного впливу на неї та подальшого руйнування.

Якщо кут нахилу сопел Лавалю α занадто великий то спостерігається зменшення глибини проникнення струменів із погіршенням засвоєння кисню металом, але це дозволяє забезпечити незалежне формування зон взаємодії та інтенсифікувати процеси шлакоутворення у ванні. Однак може призвести до розвитку переокисленості шлакового та металевго розплаву, а зони взаємодії будуть формуватися досить близько до стінок футерівки конвертеру, що сприятиме високотемпературному впливу на них та суттєво прискорить руйнування [7, 8]. Також у [7] відзначається, що зі збільшенням кількості сопел кут їх нахилу до вертикальної осі фурми α повинен бути збільшений. У разі малого значення $\alpha_{\text{ц}}^n$ кута нахилу циліндричних сопел до вертикальної осі фурми, може спостерігатися високотемпературний вплив на поверхню стовбура фурми під час формування факелів

допалювання, за великого значення на стінки футерівки конвертеру на рівні поширення цих факелів, що у результаті призведе до прогару та передчасного виходу з експлуатації цього обладнання.

Важливо охарактеризувати також кут між осями сусідніх циліндричних сопел у n -му додатковому продувному блоці φ_n^n та кут у плані між осями сусідніх сопел Лаваля φ у наконечнику одноярусної, чи головному продувному блоці багатоярусної фурми. Треба відзначити, що φ_n^n є у певній мірі своєрідним аналогом φ . Однак у випадку наконечника або головного продувного блоку значення φ встановлюється для того, щоб забезпечити роздільне витікання струменів та розгалуження первинних реакційних зон взаємодії надзвукових кисневих струменів у просторі, з виключенням перекриття сусідніми струменями один одного на відстані не меншій початкової довжини струменя $l_{поч}$ [7, 8].

У свою чергу додаткові продувні блоки перш за все відповідають за допоміжні операції під час продувки, для більшості з яких навпаки необхідно створення щільної завіси звукових кисневих струменів над зоною взаємодії, що формується соплами Лаваля головного продувного блоку. За якої допускається контакт зовнішніх меж сусідніх струменів, що витікають з циліндричних сопел додаткового продувного блоку, але взаємне перекриття струменів один одного в умовах їх витікання з продувного блоку є небажаним явищем, тому значення φ_n^n лімітує максимально допустиму кількість сопел n_n^n у одній площині додатково продувного блоку, за умови, що кут φ_n^n повинен бути більший або дорівнювати значенню кута розкриття звукових кисневих струменів θ_{36} .

Визначення раціональних геометричних параметрів сопел Лаваля d_{ex} , d_{eux} , $d_{кр}$, l_3 , l_0 та циліндричних d_u^n , l_u^n у головному та додаткових продувних блоках дозволяють організувати ефективний режим продувки конвертерної ванни з досягненням необхідних показників стійкості фурми, киснево-конвертерного обладнання та бажаних техніко-економічних показників процесу конвертування розплаву.

Раціональні геометричні параметри сопел Лаваля та циліндричних можуть визначатися, в залежності від обраної методики для розрахунку на підставі наступних характеристик: тиску газового потоку у магістралі або перед соплами у фурмі; щільності кисню у перерізах сопел; масової витрати кисню у одиницю часу; швидкості газового потоку у трубі фурми; імпульсу струменю; ступеню уширення сопла; швидкості газового потоку у перерізах сопла; довжини ядра початкової швидкості; коефіцієнту турбулентної структури струменя; кутів розкриття закритичної та докритичної частини сопла; передбаченої витрати кисню на продувку з ціллю отримання металевого напівпродукту певного сортаменту у відповідності до вимог якості.

З співвідношенням розмірів, а саме діаметрів сопла d_{ex} , d_{eux} , $d_{кр}$, d_u^n та довжин l_3 , l_0 , l_u^n також тісно пов'язані такі характеристики як коефіцієнт швидкості струменю $\lambda(1)$ та параметр нерозрахунковості $n(2)$ [7]

$$\lambda = \frac{W_{eux}}{W_{eux}^{кр}}; \quad (1)$$

Металургія

$$n = \frac{P_{вих}}{P_{оточ}}; \quad (2)$$

де λ – коефіцієнту швидкості струменю; $w_{вих}$ – швидкість струменю на виході з сопла, м/с; $w_{вих}^{кр}$ – критична швидкість струменю на виході з сопла, м/с; n – параметр нерозрохунковості; $P_{вих}$ – тиск газу на виході з сопла, МПа; $P_{оточ}$ – тиск оточуючого середовища, МПа.

У випадку $d_{вих} = d_{кр}$ або $d_{ц}^n$ коефіцієнт швидкості струменю $\lambda = 1$, а струмінь стає звуковим, коли $d_{вих} > d_{кр}$ коефіцієнт швидкості струменю $\lambda > 1$ та струмінь стає надзвуковим [7]. На (рис. 1) представлено схему структури надзвукового (рис. 1, а) та звукового струменю (рис. 1, б). У роботі [7] встановлено, що по мірі збільшення співвідношення $d_{вих} \div d_{кр}$ величина λ , що дорівнює (1) та швидкість струменю збільшується, а тиск й щільність газу зменшується [7].

Відповідно параметр нерозрахунковості надзвукового струменю n , що дорівнює (2) за мірою збільшення відношення $d_{вих} > d_{кр}$ та зменшення вихідного тиску $P_{вих}$ буде зменшуватись та коли параметр нерозрахунковості $n = 1$ струмінь буде називатиметься розрахунковим [7]. Коли $n < 1$ – струмінь буде перерозширеним, $n > 1$ недорозширеним [7].

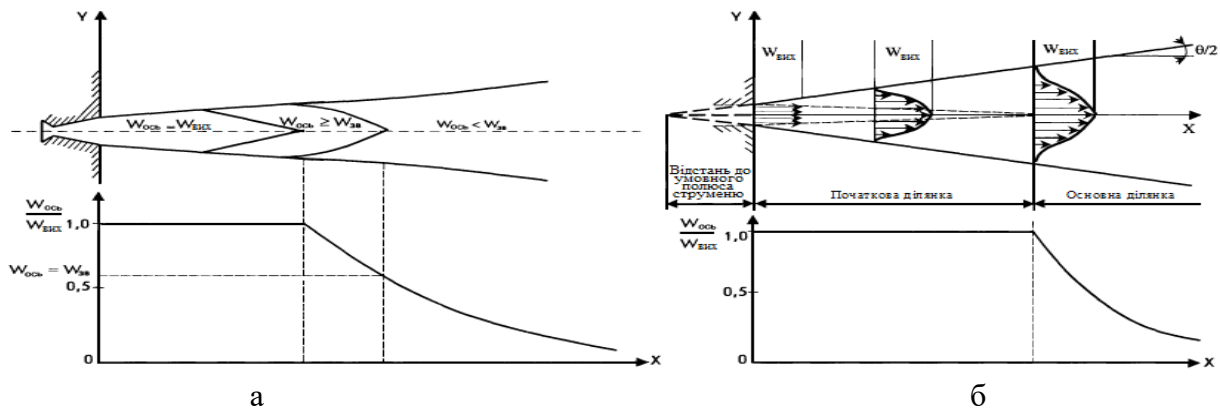


Рисунок 1 – Схематичне зображення структури надзвукового (а) та звукового (б) струменю [7]

Так в залежності від параметру нерозрахунковості n може спостерігатися, що тиск у струмені на виході з сопла стає настільки малим $n < 0,5$, що під дією тиску навколишнього середовища $P_{оточ}$ газовий потік повністю відірветься від стінок закритичної частини сопла Лаваля довжиною l_3 та буде витікати з критичного діаметру сопла $d_{кр}$ у результаті струмінь стане звуковим, це призведе до явища рекомпресії [7, 8]. Окрім цього рекомпресія можлива у випадку відриву струменю не за всією довжиною закритичної частини сопла Лаваля l_3 , а на певній відстані від вихідного перерізу сопла з діаметром $d_{вих}$ у результаті чого гарячий газ навколишнього середовища у порожнині конвертеру затікає у сопло на цю довжину та

викликає додатковий температурний вплив на частину стінки сопла [7]. Це зазвичай спостерігається коли довжина закритичної частини сопла Лаваля l_3 (дифузора) занадто велика або має великий кут розкриття $\beta/2$ [7, 8]. Слід відзначити, що довжина закритичної частини сопла Лаваля l_3 (дифузора) та докритичної частини сопла Лаваля l_0 (конфузора) тісно пов'язані з розмірами діаметрів $d_{вих}$, $d_{кр}$, що виступають як визначні параметри у більшості формул для їх розрахунку.

Відносно рекомпресії, треба зазначити, що відбувається механічна деформація сопла зі зміною конфігурації вихідних ділянок та перерізу сопла Лаваля, що призводить до зносу сопла з розгаром його вихідної частини, цей процес може розвиватися аж до повного прогару наконечнику фурми у цьому місці [7, 8]. Під час використання наконечників фурм з деформованими соплами спостерігається пом'якшення дуття, зменшення коефіцієнту швидкості витікання струменю, його динамічного напору та здатності достатньо глибокого проникнення у конвертерну ванну, що спричинює зниження інтенсивності окислення домішок металу, зневуглицювання та збільшення інтенсивності окислення заліза, це веде до: переокислення шлаку та розвитку його викидів у ході продувки; зниження стійкості футерівки конвертеру; зменшення виходу придатного металевого напівпродукту; підвищення тривалості продувки [7, 8].

Явище рекомпресії, ще відомо як зворотне горіння сопла, причиною є те, що геометричні параметри сопла розраховуються на певну витрату газу q та його тиску P для роботи сопла у розрахунковому режимі, коли $n = 1$ [7, 8]. Однак через коливання тиску від P_{min} до P_{max} газу в магістралі, необхідних змін за технологією витрати газу у ході продувки розплаву від q_{min} до q_{max} та нестабільності тиску у порожнині конвертеру значну частину часу сопла фактично працюють в режимі перерозширення $n < 1$, тобто має місце відрив дуттьового потоку від стінок сопла [7, 8].

Забезпечити ефективний режим продувки конвертерної ванни та уникнути розгару наконечника фурми та явища рекомпресії у результаті зносу вихідних ділянок сопел можливо шляхом проектування укорочених сопел Лаваля [9], геометричні розміри яких розраховуються не на точно задану величину тиску P та витрату q газу, а на деякий інтервал тиску від P_{min} до P_{max} та витрату газу від q_{min} до q_{max} на вході у докритичну частину сопла Лаваля (з урахуванням зміни тиску у порожнині конвертеру) [7-9]. У випадку максимального зниження тиску P_{min} та витрати газу q_{min} на вході у докритичній частині сопла Лаваля такі сопла будуть працювати у розрахунковому режимі $n = 1$, з можливим невеликим відхиленням від його нормальних показників. За нормальних показників тиску P та витрати газу q через сопла Лаваля основним режимом їх роботи стане режим недорозширення $n > 1$, у якому струмінь розширюється за межами сопла Лаваля, а його швидкість становиться надзвуковою. Докритична форма сопла повинна забезпечувати плавний вхід газу, що зменшує, а по можливості виключає вірогідність відриву струменю від стінок сопла у розрахунковому режимі $n = 1$ [7-9].

Використання укорочених сопел Лаваля також сприяє стабільному витіканню газових струменів та спокійному ходу продувки. Не дивлячись на це слід пам'ятати про раціональне співвідношення між основними геометричними показниками сопла d_{ex} , $d_{вих}$, $d_{кр}$, l_3 ,

l_0, d_y^n, l_y^n та необхідністю забезпечення ефективної пропускної здатності для проходження охолоджуючої води у наконечнику одноярусної фурми або головному та додаткових продувних блоках багатоярусної фурми, що у значній мірі залежить від розмірів сопел та їх кількості.

Висота розташування кожного додаткового продувного блоку $H_{n\delta}$ на стовбурі багатоярусної фурми повинна обиратися у відповідності до геометричних параметрів звукових та надзвукових струменів та розмірів реакційної зони взаємодії, геометричних параметрів конвертеру. Також можна виділити мінімальну $H_{n\delta}^{\min}$ та максимальну $H_{n\delta}^{\max}$ висоту розташування додаткових продувних блоків відносно торця головки багатоярусної фурми. Виходячи з цього визначимо, що $H_{n\delta}^{\min}$ становить висоту розташування нижнього (першого) додаткового продувного блоку багатоярусної фурми, а $H_{n\delta}^{\max}$ відповідно верхнього (останнього) продувного блоку, разом вони визначають базову кількість додаткових продувних блоків багатоярусної фурми. У разі якщо кількість додаткових продувних блоків перевищує базову, їх розташовують у межах розміщення від $H_{n\delta}^{\min}$ до $H_{n\delta}^{\max}$. Обирати $H_{n\delta}^{\min}$ необхідно таким чином, щоб додаткові звукові струмені створювали вплив на поверхню розплаву, у межах реакційної зони взаємодії надзвукових кисневих струменів з поверхнею ванни та інтенсифікували процеси, що покращують тепловий баланс і шлакоутворення у ході продувки.

Висота розташування верхнього продувного блоку $H_{n\delta}^{\max}$ повинна бути такою, щоб забезпечувати дії керуючого впливу на рівень шлакометалевої емульсії у разі її надмірного спінення, а також сприяти розвитку процесу допалювання вихідних макрооб'ємів CO до CO₂, що переважно виділяються з меж вторинної реакційної зони взаємодії та у залежності від рівня спіненої шлакометалевої емульсії можуть виходити за рахунок «свищового» потоку, чи ланцюжком макропузирів CO, що утворюються з певною періодичністю.

Треба відзначити, що одним з факторів, що лімітує максимально допустиму кількість додаткових продувних блоків $N_{n\delta}^{\max}$ у багатоярусній фурмі є відстань між $H_{n\delta}^{\min}$ та $H_{n\delta}^{\max}$. Для виключення перекриття струменів, що витікають з сусідніх блоків один одного та злиття завіс звукових струменів у вертикальній площині, мінімальна відстань між додатковими продувними блоками визначається з урахуванням довжини вертикального розповсюдження факелів допалювання звукових струменів, що витікають з циліндричних сопел, над поверхнею ванни $l_{\phi}^{n\delta}$.

Кількість додаткових продувних блоків у багатоярусній фурмі $N_{n\delta}$, можна визначити за відношенням максимально допустимого сумарного використання дуття, на n -ну кількість додаткових продувних блоків до мінімально доцільної витрати дуття на один додатковий продувний блок. У випадку використання багатоярусної фурми з одним потоком для подання дуття, розподілення його витрати між $N_{n\delta}$ буде відбуватися в залежності від пропускної здатності кожного продувного блоку, та за необхідності може досягатися як рівнозначне розподілення так і зміна співвідношення між кожним з блоків.

Від вдалого визначення основних конструктивних параметрів верхньої фурми на підставі проведення розрахунків за вірно підібраними методиками та рівняннями для конкретних технічних та технологічних умов роботи кисневого конвертеру, наявної

сировинної бази, залежить ряд технологічних та техніко-економічні показників. У випадку довільного встановлення основних конструктивних характеристик як для одноярусної, так і багатоярусної фурми спостерігається порушення розподілення дуття між газовою шлаковою та металеву фазами у зонах робочого простору конвертеру з організацією низькоефективної та нестабільної продувки конвертерної ванни, підвищенням викидів та переливів розплаву, низькими показниками допалювання відхідних газів і виходу придатного металеву напівпродукту, утворенням переокисленого шлаку, що супроводжується загальним падіння ряду технологічних показників процесу продувки, зниженням експлуатаційного строку фурми й кисневого-конвертерного обладнання, погіршенням якості вихідного металеву напівпродукту.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано перелік та характеристику основних конструктивних параметрів продувних блоків для одноярусних та вперше для багатоярусних фурм. У випадку проектування одноярусної фурми перш за все необхідно визначити: $n_d; \alpha; \varphi; d_{вх}; d_{вих}; d_{кр}; l_0;$ l_3 . Для багатоярусних фурм додатково треба встановити: $n_u^n; \alpha_u^n; \varphi_u^n; d_u^n; l_u^n; N_{нб}; H_{нб}$.

2. Надано характеристику та необхідні свідчення, щодо впливу наведених параметрів на перебіг продувки, експлуатаційні показники фурми і кисневого-конвертерного обладнання.

3. Визначено, що забезпечення ефективного режиму продувки конвертерної ванни з уникнення розгару наконечника фурми та явища рекомпресії у результаті зносу вихідних ділянок сопел можливо шляхом проектування укорочених сопел Лавалю, геометричні розміри яких розраховуються не на точно задану величину тиску P та витрату q газу, а на деякий інтервал тиску від P_{min} до P_{max} та витрату газу від q_{min} до q_{max} на вході у докритичну частину сопла Лавалю.

4. Від вдалого компонування основних конструктивних параметрів продувних блоків одноярусної або багатоярусної фурми на підставі проведення розрахунків за вірно підібраними методиками та рівняннями залежить ефективність процесу конвертування розплаву у цілому, експлуатаційний строк фурми й кисневого-конвертерного обладнання, якість та вихід придатного металеву напівпродукту.

Перелік використаних джерел:

1. Состояние и дальнейшее совершенствование конструкций кислородных фурм в конвертерных цехах Украины / А. Д. Зражевский, А. Г. Чернятевич, А. В. Сущенко, А. С. Грищенко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 6. – С. 20–30.

2. Рациональные конструкции многосопловых наконечников для кислородно-конвертерных фурм / А. Г. Величко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 7. – С. 49–52.

3. Чернятевич, А. Г. Современное состояние и направления совершенствования конструкций дутьевых устройств / А. Г. Чернятевич // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2002. – № 7. – С. 20–23.

4. Разработка конструкции двухъярусной фурмы и режима продувки ванны 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиталл Кривой Рог» с ее использованием / *А. Г. Чернятевич [и др.]* // Теория и практика металлургии. – 2012. – № 5-6. – С. 76–85.
5. *Чернятевич, И. В.* Современное состояние и направления совершенствования конструкций кислородных фурм для продувки конвертерной ванны / *И. В. Чернятевич* // Черная металлургия бюл. НТИ. –2008. – № 12. – С. 23–27.
6. *Чернятевич, А. Г.* Разработка и совершенствование конструкции двухъярусной фурмы для 160-т конвертеров ПАО «ЕМЗ» / *А. Г. Чернятевич, А. Г. Коваленко, А. В. Сущенко* // Теория и практика металлургии. – 2014. – № 3-6. – С. 20–28.
7. *Бойченко, Б. М.* Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, рециркуляція матеріалів і екологія / *Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин.* – Дніпропетровськ : Дніпро-ВАЛ, 2006. – 456 с.
8. *Пантейков, С. П.* Современная конструкция фурменной головки и рациональные технологические режимы ее использования / *С. П. Пантейков* // Черная металлургия бюл. НТИ. –2001. – № 10. – С. 30–33.
9. Проектирование дутьевых сопел кислородных фурм / *А. С. Горбик, В. С. Борошко, Л. М. Гревцев, Е. М. Стретинер* // Сборник научных трудов института «ВНИПИЧерметэнергоочистка». – М. : Металлургия, 1971. – С. 246–252.

Юшкевич П. О.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУВОЧНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ОДНОЯРУСНЫХ И МНОГОЯРУСНЫХ ФУРМ

Верхние фурмы являются одними из основных устройств для организации эффективной продувки расплава и получения качественного металлического полу-продукта в кислородном конвертере. На сегодняшний день отсутствуют опубликованные работы, позволяющие полностью охарактеризовать основные конструктивные параметры продувочных блоков одноярусных и многоярусных фурм, что затрудняет подход к их разработке и проектированию, а также может приводить к принятию ошибочных решений. Поэтому целью стало создание представлений, относительно основных конструктивных параметров продувочных блоков одноярусных и многоярусных фурм с предоставлением характеристики их влияния на ход и эффективность продувки расплава.

Установлено, что для проектирования (классических) одноярусных верхних фурм в первую очередь необходимо определить конструктивные параметры наконечника. В случае разработки рациональных конструкций многоярусных фурм кроме наконечника, который является главным дутьевым блоком необходимо также установить параметры дополнительных продувочных блоков их количество и позиции расположения на стволе фурмы.

Соответственно для одноярусной фурмы: n_l ; a ; φ ; $d_{вх}$; $d_{вих}$; $d_{кр}$; l_o ; l_z . Для многоярусной фурмы необходимо учесть следующие основные конструктивные параметры для дополнительных продувочных блоков: n_u^n ; α_u^n ; φ_u^n ; d_u^n ; l_u^n ; $N_{нб}$; $H_{нб}^n$.

Определено, что обеспечение эффективного режима продувки конвертерной ванны для предотвращения разгара наконечника фурмы и явления рекомпрессии в результате

износа выходных участков сопел, возможно, путем проектирования укороченных сопел Лаваля, геометрические размеры которых рассчитываются не на точно заданную величину давления P и расход q газа, а на некоторый интервал давления от P_{min} до P_{max} и расход газа от q_{min} до q_{max} на входе в докритическую часть сопла Лаваля.

Ключевые слова: *конвертер, многоярусная фурма, одноярусная фурма, продувочные блоки, основные конструктивные параметры.*

Yushkevich P. O., Yushkevich O. P.

CHARACTERISTICS OF THE MAIN CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF SUPPLY BLOCKS FOR SINGLE-TIER AND MULTI-TIER TUYERE

The upper tuyere are one of the main devices for the organization of efficient purging of the melt and obtaining a high-quality metal semi-finished product in the oxygen converter. To day, there are no published works that allow us to fully characterize the main constructive parameters of purge units of single-tier and multi-tier tuyere, which complicates the approach to their development and design, and can lead to erroneous decisions. Therefore, the purpose was to create representations regarding the main constructive parameters of purge units of single-tier and multi-tier tuyere with the provision of characteristics of their influence on the course and efficiency of melt purge.

It has been established that for the design of (classical) single-tier upper tuyeres, it is first of all necessary to determine the design parameters of the tip. In the case of the development of rational designs of multi-tiered tuyere, in addition to the tip, which is the main blowing unit, it is also necessary to set the parameters of additional purge units their quantity and position on the tuyere trunk.

Accordingly for a single-tier tuyere: n_{\cdot} ; α ; φ ; d_{ex} ; d_{eux} ; d_{xp} ; l_{δ} ; l_{Σ} . For a multi-tier tuyere, the following basic design parameters for additional purge units must be considered: n_u^n ; α_u^n ; φ_u^n ; d_u^n ; l_u^n ; $N_{n\delta}$; $H_{n\delta}^n$.

It is determined that the effective purge mode of the converter bath to prevent ignition of the tuyere tip and the phenomenon of recompression as a result of wear of the nozzle outlets, possibly by designing shortened Laval nozzles, the geometric dimensions of which are calculated not on the specified pressure value P and gas flow q , for some pressure range from P_{min} to P_{max} and gas flow from q_{min} to q_{max} at the inlet to the subcritical part of the Laval nozzle.

The efficiency of the melt conversion process as a whole, the service life cycle of the tuyere and oxygen-converter equipment, the quality and yield of a suitable metal semi-product depend on the successful arrangement of the main constructive parameters of the purge units of the upper tuyere on the basis of calculations according to correctly selected methods and equations.

Keywords: *converter, single-tier tuyere, multi-tier tuyere, purge units, main constructive parameters.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. Тогобицька Д. М.
Стаття надійшла 17.11.2020 р.*