

ВИСОТА РОЗТАШУВАННЯ ВЕРХНЬОЇ ОДНОЯРУСНОЇ ФУРМИ У ПРОЦЕСІ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ ВАННИ

Важливим параметром для експлуатації верхніх фурм у процесі сталеваріння у кисневих конвертерах є висота розташування чи положення відносно дзеркала металу в спокійному стані. Існує поняття раціональної висоти розміщення або положення верхньої фурми над дзеркалом металу в спокійному стані, та критичної висоти розміщення.

Для визначення раціонального положення фурми у процесі продувки було введено параметри початкової – $h_{\text{ф}}^{\text{поч}}$ та робочої – $h_{\text{ф}}^{\text{роб}}$ висоти розташування фурми під час продувки над дзеркалом металу у спокійному стані. З аналізу десятків наукових джерел встановлено, що розрахувати початкову висоту розташування фурми – $h_{\text{ф}}^{\text{поч}}$, можливо за одним із трьох рівнянь, а робочу – $h_{\text{ф}}^{\text{роб}}$ за одним з дев'яти. Окрім цього, слід зазначити, що, не зважаючи на переважне використання у більшості цих рівнянь тотожних критеріїв для розрахунку, у кожному з них задіяні свої сталі коефіцієнти, що були, вірогідно, встановлені у результаті обробки експериментальних та промислових даних.

Для перевірки доцільності використання наведених рівнянь у сучасних умовах роботи киснево-конвертерних цехів національних металургійних підприємств України, потрібне проведення подальших досліджень.

Ключові слова: конвертер, одноярусна фурма, багатоярусна фурма, початкова висота розташування, робоча висота розташування, критична висота розташування.

Постановка проблеми. На сьогодні на долю киснево-конвертерного переділу припадає понад п'ятдесят відсотків від загального виробництва сталі. Одним з основних пристроїв для перетворення металевого лому та рідкого чавуну на потрібну марку сталі з належними показниками якості та властивостями в кисневих конвертерах є верхні продувні багатосоплові фурми, переважно класичної одноярусної конструкції. Важливим параметром для експлуатації цих пристроїв у процесі сталеваріння є висота розташування або положення відносно дзеркала металу в спокійному стані. У процесі продувки киснем метало-вуглецевого розплаву через верхню фурму окрім усього відбувається окислення вуглецю та інших домішок розплаву з утворенням залізо-вуглецевого напівпродукту, шлакової та газової фази.

Установленню висоти розташування верхньої фурми присвячено чимало робіт, рівнянь та виразів [1-11], що запропоновані від різних авторів та науково-дослідних колективів. Однак, на жаль, майже відсутні роботи, що дозволяють скласти цілісне уявлення з цього питання відповідно до сучасних умов виробництва металургійного комплексу України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи публікації з означеної теми, зауважимо, що в деяких роботах [1-11] підкреслюється, що висота розташування верхньої фурми під час продувки є важливою не лише з точки зору проектування конструкції продувального пристрою, а й визначення параметрів дуттєвого режиму в кисневому конвертері [2-9]. Вибір раціонального дуттєвого режиму частково полягає у встановленні висоти або положення фурми, за якого забезпечується необхідний перерозподіл кисню між металевією та шлаковою фазами [1-10]. У роботах [1, 4, 8] зазначається, що для промислових конвертерів висота або положення фурми у процесі становлення киснево-конвертерного виробництва на ранніх етапах визначалося емпірично, за рахунок проведення промислово-експериментальних компаній.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Під час проведення подальших досліджень [1-11] було встановлено, що висота розташування верхньої фурми відносно металевої ванни у спокійному стані обумовлює значною мірою характер розвитку гідрогазодинамічних, тепломасообмінних та макрофізичних явищ у цілому під час продувки конвертерної ванни. Також вона є одним з основних параметрів, що впливає на стійкість фурмених головок, зміну геометричних параметрів та профілю сопла під час експлуатації фурми.

Мета дослідження. Скласти уявлення стосовно основних існуючих свідчень із питання визначення висоти розташування одноярусної фурми в процесі продувки конвертерної ванни, виразів та рівнянь для розрахунку параметрів початкового та робочого положення, що можуть бути корисними відповідно до сучасних умов та потреб металургійного комплексу України.

Основний матеріал дослідження. У процесі досліджень та за рахунок аналізу перебігу продувки конвертної ванни у експериментальних, промислово-експериментальних та промислових умовах, дослідниками було встановлено [1-11], що:

– високе та надвисоке розміщення фурми у робочому просторі конвертеру відносно дзеркалу металу у спокійному стані значно підвищує стійкість накінецьнику фурми, зменшує вплив теплових потоків на його зовнішню поверхню. Хоча за умови такого розміщення і спостерігається зниження дії теплових потоків, але разом з цим відбувається пом'якшення продувки, зменшення глибини проникнення кисневих струменів у розплав, що супроводжується перерозподілом витрати кисню переважно на окислення заліза розплаву та пригніченням інтенсивності окислення вуглецю та інших домішок у межах вторинної зони взаємодії надзвукових кисневих струменів з поверхнею ванни. Унаслідок цього може спостерігатися підвищення часу продувки, невідповідність готового напівпродукту вимогам за хімічним складом. Окрім цього відбувається переокислення металевої та шлакової фази, що призводить до: розвитку викидів та переливів; заметалювання киснево-конвертерного обладнання та верхньої фурми; зменшення виходу придатного металевого напівпродукту [1-11].

– низьке і наднизьке розміщення фурми навпаки значно зменшує стійкість накінецьнику фурми, через збільшення впливу теплових потоків на його зовнішню поверхню. Спостерігається прискорена деформація профілю та геометричних параметрів сопел. Окрім цього за таких умов може відбутися небезпечне явище прогару накінецьника фурми вже під час першої плавки [1-11]. Інтенсифікуються несприятливі гідрогазодинамічні та тепломасообмінні процеси під час продувки металево-вуглецевого розплаву. Уможлиблюється розвиток явища пробійного режиму продувки у конвертері, за якого надзвукові кисневі струмені, що витікають з сопел Лавала накінецьника фурми, наближуються до розташування футерівки падини конвертера та впливають на неї, що призводить до її передчасного руйнування.

З урахуванням вищенаведеного на етапі формування теорії киснево-конвертерного процесу було висунуто та сформовано концепцію раціональної висоти розміщення або положення верхньої фурми над дзеркалом металу у спокійному стані [1, 4, 8]. За такого підходу у виборі висоти розташування фурми, можливо досягти сприятливих умов під час продувки, з стабілізацією режиму та розвитку гідрогазодинамічних, тепломасообмінних та фізико-хімічних процесів. Забезпечити перерозподілення кисню $\{O_2\}$ на переважне окислення вуглецю $[C]$ та інших домішок у межах вторинної зони взаємодії, і у цілому сприяти зниженню окисленості металу й шлаку у процесі продувки [1-11]. Вищезазначені показники можуть бути забезпечені з дотриманням параметра раціональної висоти розміщення верхньої фурми протягом усього часу продувки, це також сприятливо позначиться на збереженні експлуатаційного ресурсу, з досягненням необхідного показника стійкості продувного пристрою.

Окрім поняття раціональної висоти розміщення або положення верхньої фурми над дзеркалом металу у спокійному стані, можна також виділити термін критичної висоти, що

Машинобудування і зварювальне виробництво

встановлюється відповідно до технічних та технологічних умов роботи киснево-конвертерного агрегату [1-11].

На етапі подальшого розвитку теорії киснево-конвертерного процесу для визначення раціонального положення фурми під час продувки було введено параметри початкової – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ та робочої – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ висоти розміщення фурми під час продувки над дзеркалом металу в спокійному стані, що визначаються залежно від зміни технологічних та технічних умов роботи кисневого конвертеру. Початкова висота розміщення фурми – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ переважно дотримується до досягнення, так званого явища “запалювання” плавки, що характеризує розвиток інтенсивного окислення вуглецю, після чого відбувається перехід на робочу висоту розміщення фурми – $h_{\phi}^{\text{роб}}$, положення за якою зазвичай дотримується до досягнення критичних концентрацій за вмістом вуглецю у розплаві залізо-вуглецевого напівпродукту від 0,07 до 0,15 [1, 4]. Для визначення раціональних значень параметрів початкової – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ та робочої – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ висоти розташування фурми під час продувки над дзеркалом металу у спокійному стані, на сьогодні запропоновано чимало рівнянь, що представлені у (табл. 1).

Відповідно з вищенаведеним у (табл. 1), більшість рівнянь для визначення раціональної висоти розташування фурм – h_{ϕ} у процесі продувки над дзеркалом металу у спокійному стані, а саме значення параметрів початкового – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ та робочого – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ положення базується на встановленні геометричних параметрів сопел Лаваля та динамічних параметрів надзвукових кисневих струменів до яких відносяться імпульс та довжина ядра початкової швидкості струменю, окрім цього задіюються показники, що дозволяють урахувати геометричні та вагові параметри конвертеру. Не зважаючи на використання у переважній більшості рівнянь з (табл. 1), тотожних критеріїв для визначення раціонального початкового – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ та робочого – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ розташування фурм під час продувки, у кожному з них задіяні свої сталі коефіцієнти, що були, вірогідно, встановлені у результаті обробки експериментальних та промислових даних.

Таблиця 1 – Рівняння для визначення початкової – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ та робочої – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ висоти розташування фурми у процесі продувки

| № п/ф | Формули | Умовні позначення та одиниці вимірювання | Джерела |
|-------|---|--|----------|
| I | II | III | IV |
| 1 | $h_{\phi}^{\text{поч}} = 258,9 \cdot d_{\text{вих}} \cdot \left(\frac{\sum i}{m \cdot g} \right)^{0,164}$ | i та $\sum i$ – одиночний та сумарний імпульси кисневих струменів, $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$. | [3] |
| 2 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = l_{\text{ст}}^{\text{поч}} \cdot (1,82 - 0,015 \cdot q_1^{\text{O}_2}),$ коли $q_1^{\text{O}_2} < 60 \text{ м}^3/\text{хв}$ | $q_1^{\text{O}_2}$ – інтенсивність продувки на одне сопло $\text{м}^3/\text{хв}$. | [1], [4] |
| 3 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = l_{\text{ст}}^{\text{поч}} \cdot 0,9$ | $l_{\text{ст}}^{\text{поч}}$ – довжина ядра початкової швидкості струменя, м. | [1], [4] |
| 4 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = 40,8 \cdot d_{\text{вих}} \cdot \left(\frac{\sum i_{\text{осн}}}{m \cdot g} \right)^{0,092}$ | m – маса рідкого металу, кг. | [5] |
| 5 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = \frac{6,75 \cdot d_{\text{вих}}}{\bar{\rho}^{0,5}},$ коли $q_1^{\text{O}_2} > 60 \text{ м}^3/\text{хв}$ | $d_{\text{вих}}$ – вихідний діаметр сопла Лаваля, м. $\bar{\rho}$ – параметр неізотермічності. | [1], [4] |

Продовження таблиці 1

| I | II | III | IV |
|----|--|--|----------|
| 6 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = H_0 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot n^{1/2} \cdot \beta_{\alpha}}{4 \cdot C_D \cdot \cos^2 \alpha^{-1}} \right)$ | H_0 – глибина ванни конвертера у спокійному стані, м; $\beta_{\alpha} \approx 1$, $C_D \approx 1$, $n \approx 0,74$ – сталі коефіцієнти. | [1], [4] |
| 7 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = 36,9 \cdot d_{\text{вих}} \cdot \left(\frac{\sum i}{m \cdot g} \right)^{0,092}$ | $h_{\phi}^{\text{роб}}$ – робоча висоти розташування фурми у ході продувки, м. | [6], [7] |
| 8 | $h_{\phi}^{\text{поч}} = 1,5 \div 1,8 \cdot h_{\phi}^{\text{роб}}$ | $h_{\phi}^{\text{поч}}$ – початкова висоти розташування фурми у ході продувки, м. | [1], [4] |
| 9 | $h_{\phi}^{\text{поч}} = 62,9 \cdot d_{\text{вих}} \cdot \left(\frac{\sum i_{\text{осн}}}{\rho_m \cdot g} \right)^{0,094}$ | $\sum i_{\text{осн}}$ – та сумарний імпульс основних кисневих струменів, кг·м / с ² . | [5] |
| 10 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = \left(\frac{h_{\phi}^{\text{поч}}}{\sqrt{n_l}} \right) \cdot \cos^2 \alpha$ | n_l – кількість сопел Лавалья, шт; α – кут нахилу сопел, °. | [8] |
| 11 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = 1,63 \cdot L_{\text{pz}}^I$ | L_{pz}^I – довжина первинної зони, м. | [9] |
| 12 | $h_{\phi}^{\text{роб}} = 7,7 \cdot \left(\frac{i}{\rho_m \cdot g} \right)^{0,465}$ | ρ_m – густина металу, кг/м ³ ; g – прискорення сил тяжіння, м/с ² . | [10] |

Для перевірки доцільності використання наведених рівнянь з (табл. 1) із розрахунку початкової – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ та робочої – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ висоти розташування фурми у процесі продувки над дзеркалом металу у спокійному стані до сучасних умов роботи киснево-конвертерних цехів національних металургійних підприємств України, обов'язковим є проведення подальших досліджень, результати яких буде наведено у наступних роботах.

ВИСНОВКИ

1. Для організації покращення умов продувки та підвищення показника стійкості верхньої фурми слід забезпечувати її розташування на раціональній висоті – h_{ϕ} над дзеркалом металу у спокійному стані. Із дотриманням значення початкового – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ та робочого – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ положення у передбачені періоди продувки.

2. За можливості запобігати розміщенню торця накієчника верхньої фурми над дзеркалом металу з наближенням до критичної висоти або нижче за неї.

3. Установлено з аналізу десятків наукових джерел, що розрахунок початкової висоти розташування фурми – $h_{\phi}^{\text{поч}}$, можливо провести за одним із трьох рівнянь, а робочої – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ за одним з дев'яти.

Не зважаючи на переважне використання у більшості цих рівнянь тотожних критеріїв для визначення параметрів раціонального початкового – $h_{\phi}^{\text{поч}}$ та робочого – $h_{\phi}^{\text{роб}}$ розташування фурми під час продувки, у кожному рівнянні використано свої сталі коефіцієнти, що були, вірогідно, встановлені в результаті обробки експериментальних та промислових даних.

Для перевірки доцільності застосування наведених рівнянь до сучасних умов роботи киснево-конвертерних цехів національних металургійних підприємств України, обов'язковим є проведення подальших досліджень.

Список використаних джерел:

1. Бойченко, Б. М. Конвертерное производство стали : теория, технология, качество стали, конструкция агрегатов, рециркуляция материалов и экология : учебник для студентов вузов / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин; под ред. Б. М. Бойченко, В. Б. Охотского. – Днепропетровск : Днепр-ВАЛ, 2006. – 453 с.
2. 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.
3. Исследование структуры и параметров реакционных зон при верхней продувке применительно к проектированию многоцелевых конвертерных фурм / Е. В. Протопопов, А. Г. Чернятевич, Д. А. Лаврик, Е. Л. Мастеровенко // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 12. – С. 16–21.
4. Баптизманский, В. И. Физико-химические основы кислородно-конвертерного процесса / В. И. Баптизманский, В. Б. Охотский. – К. : Вища школа, 1981. – 183 с.
5. Мокринский, А. В. Совершенствование конструкций накинечников одноконтурных кислородных фурм на основе высокотемпературного моделирования / А. В. Мокринский, Е. В. Протопопов, А. Г. Чернятевич // Известия вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 8. – С. 10–16.
6. Чернятевич, А. Г. Разработка накинечников двухконтурных фурм для кислородных конвертеров / А. Г. Чернятевич, Е. В. Протопопов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1995. – № 12. – С. 13–17.
7. Чернятевич, А. Г. Новые разработки конструкций кислородных фурм и способов продувки ванны 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиталл Кривой Рог» / А. Г. Чернятевич, Е. Н. Сигарев, И. В. Чернятевич // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 1-2. – С. 31–38.
8. Об организации многоструйной продувки конвертерной ванны / С. Г. Афанасьев, А. С. Горбик, В. С. Бобошко, Л. М. Гревцев // Сталь. – 1971. – № 1. – С. 21–23.
9. Исследование процессов в зоне взаимодействия при продувке металла через многоканальную фурму. Сообщ. 2 / В. И. Баптизманский, В. Б. Охотский, А. Г. Величко, Г. А. Щедрин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1979. – № 6. – С. 32–35.
10. Чернятевич, А. Г. Разработка и совершенствование дутьевого режима плавки при переделе низкомарганцовистого чугуна в 250-т конвертерах / А. Г. Чернятевич, К. Г. Носов, Ю. Н. Борисов // Черная металлургия : бюл. НТИ. – 1987. – № 2. – С. 47–49.
11. Чернятевич, А. Г. Вопросы теории и практики повышения эффективности продувки конвертерной ванны / А. Г. Чернятевич // Сталь. – 1993. – № 6. – С. 26–30.

Юшкевич П. О.

ВЫСОТА РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ОДНОЯРУСНОЙ ФУРМЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ

Важным параметром для эксплуатации верхних фурм в процессе сталеварения в кислородных конвертерах является высота размещения или положения относительно зеркала металла в спокойном состоянии. Существует понятие рациональной высоты размещения или положение верхней фурмы над зеркалом металла в спокойном состоянии, и критической.

Для определения рационального положения фурмы в ходе продувки были введены показатели начальной – $h_{\text{ф}}^{\text{нач}}$ и рабочей – $h_{\text{ф}}^{\text{раб}}$ высоты размещения фурмы во время продувки над зеркалом металла в спокойном состоянии. Из анализа десятков научных источников установлено, что рассчитать начальную высоту расположения фурмы – $h_{\text{ф}}^{\text{нач}}$, возможно по одному из трех уравнений, а рабочую – $h_{\text{ф}}^{\text{раб}}$ по одному из девяти. Кроме этого, надо отметить,

Машинобудування і зварювальне виробництво

что несмотря на преимущественное использование в большинстве этих уравнений тождественных критериев для расчета, в каждом из них задействованы свои постоянные коэффициенты, которые были, вероятно, установлены в результате обработки экспериментальных и промышленных данных.

Для проверки целесообразности использования приведенных уравнений к современным условиям работы кислородно-конвертерных цехов национальных металлургических предприятий Украины, необходимо проведение дальнейших исследований.

Ключевые слова: конвертер, однарусная фурма, многорусная фурма, начальная высота расположения, рабочая высота расположения, критическая высота расположения.

Yushkevich P. O.

HEIGHT OF THE LOCATION A SINGLE-TIER TUYERE IN THE PROCESS FOR BLOWING AT THE CONVERTER BATH

Today, oxygen-converter redistribution accounts for more than fifty percent of total steel production. One of the main devices for converting scrap metal and liquid pig iron into the desired grade of steel with the required quality and properties in oxygen converters are the multi-nozzle tuyere, mostly of classic single-tier construction.

An important parameter for the technological operations with using the single-tier tuyere in the steelmaking process at the oxygen converters is the height above the metal mirror at rest stand. There is a concept of rational height of the single-tier tuyere above the metal mirror at rest, and critical. Some scientific studies indicate that for industrial converters, the height of the lance, initially in the process of formation the technologically features was determined empirically, by conducting industrial-experimental companies.

With a rational choice of the height the tuyere, it is possible to achieve favorable conditions during purging, to provide improvement on stabilization of the purge regime and hydrogas-dynamics processes, heat transfer processes, mass transfer processes and physicochemical processes.

To determine the rational position of the tuyere during purging, the indicators of the initial and working height of the tuyere location during purging over the metal mirror at rest stand. An analysis of dozens at scientific sources has shown that the initial height of the tuyere can be calculated from one of three equations, and the working height from one of nine. In addition, it should be noted that despite the predominant use in most of these equations of the same criteria for calculation, each of them involves its own constant coefficients. These coefficients were probably established as a result of processing experimental and industrial data.

To verify the feasibility of using the above equations to modern operating conditions of oxygen converter shops of national metallurgical enterprises of Ukraine, it is necessary to conduct further research.

Keywords: converter, single-tier tuyere, multi-tier tuyere, initial height location, working height location, critical height location.

Стаття надійшла 05.05.2021 р.