

**ДОСВІД ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОЯРУСНИХ
КОНСТРУКЦІЙ ФУРМ У КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНИХ ЦЕХАХ УКРАЇНИ**

Анотація. На сьогодні найбільше поширення у киснево-конвертерних цехах металургійних підприємств України отримала верхня продувка з використанням одноярусних фурм. Тому актуальним є проведення досліджень у напрямку удосконалення конструкцій фурм. Стаття присвячена результатам дослідження використання багатоярусних фурм. Вперше цілісно охарактеризовано основні етапи розробки та використання багатоярусних фурм у киснево-конвертерних цехах металургійних підприємств України від моменту їх виникнення та до сучасного часу. Перші конструкції двоярусних та триярусних конструкцій фурм, що пройшли промислове чи експериментальне випробування в Україні, були розроблені в Інституті чорної металургії НАН України. Показано, що багатоярусні фурми у киснево-конвертерних цехах металургійних підприємств України неодноразово демонстрували доцільність та ефективність їхнього застосування, порівняно з класичними конструкціями одноярусних фурм. Але через складну економічну ситуацію в металургійній галузі використання таких фурм було припинено. У роботі встановлено, що застосування багатоярусних фурм дозволяє: збільшити кількість керуючих дій на хід продувки та тим самим стабілізувати розвиток фізико-хімічних процесів, спокійний хід продувки; покращити тепловий баланс конвертерної плавки; підвищити показника допалювання CO до CO₂; забезпечити за необхідності одночасну продувку двома типами газів; збільшити кількість металевого лому у завалці, вапна, плавикового шпату, агломерату та хромової руди, без застосування додаткових енергоносіїв; зменшити інтенсивність заметалювання фурми та киснево-конвертерного обладнання. Проведені дослідження дозволили визначити, що недоліки в процесі промислової експлуатації багатоярусних фурм насамперед пов'язані з недосконалістю емпірично розроблених конструкцій. Показано шляхи усунення недоліків багатоярусних фурм за рахунок розроблення раціональної конструкції та відповідної методики розрахунку її основних конструктивних параметрів.

Ключові слова: кисневий конвертер, верхня продувка, багатоярусна фурма, двоярусна фурма, триярусна фурма.

Посилання для цитування: *Юшкевич П.О.* Досвід та сучасний стан використання багатоярусних конструкцій фурм у киснево-конвертерних цехах України. //«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. - Вип.34. – С.101-116. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-101-116

Стан питання та постановка задачі дослідження. На сьогодні найбільше поширення у киснево-конвертерних цехах Національних металургійних підприємств України отримала верхня продувка конвертерної ванни. Вона переважно передбачає використання одноярусних фурм для організації продувки розплаву та отримання металевого напівпродукту [1]. Треба відзначити, що зараз у зв'язку зі складними умовами роботи, що спостерігаються в киснево-конвертерних цехах Національних металургійних підприємств України, постала необхідність у впровадженні більш досконалих конструкцій верхніх фурм, до яких відносяться багатоярусні [2, 3]. Нажаль на сьогодні відсутні роботи, що дають цілісне уявлення відносно досвіду та сучасного стану використання багатоярусних конструкцій фурм у киснево-конвертерних цехах України.

Мета статті. Скласти цілісне уявлення відносно досвіду та сучасного стану використання багатоярусних конструкцій фурм у киснево-конвертерних цехах Національних металургійних підприємств України. Встановити переваги та недоліки використання багатоярусних фурм, що спостерігалися у ході промислової експлуатації.

Методика проведення дослідження. Для досягнення поставленої мети проведено пошук літературних джерел пов'язаних з питанням багатоярусних конструкцій верхніх фурм та їх використанням у киснево-конвертерному виробництві. За результатами пошуку літературних джерел виконано їх подальшу аналітичну обробку, за якої встановлені та розібрані основні роботи, які є актуальними до сучасних умов роботи киснево-конвертерних цехів Національних металургійних підприємств України та надають можливість скласти цілісне уявлення відносно досвіду та стану застосування багатоярусних фурм, переваг та недоліків їх використання у промислових умовах.

Виклад основних матеріалів дослідження. До багатоярусних конструкцій верхніх фурм з тих, що пройшли промислове чи експериментальне випробування можна віднести двоярусні [2, 3] та триярусні фурми [10, 12]. На сьогодні найбільше промислове впровадження у киснево-конвертерних цехах Національних металургійних підприємств України мали конструкції двоярусних фурм [2-5].

Перші конструкції двоярусних фурм в Україні були розроблені у Інституті чорної металургії «ІЧМ» [4]. Відпрацювання режимів роботи проводили у лабораторних умовах на конвертерах садкою 80–кг. В ході проведення лабораторно-експериментальних досліджень було

встановлено ряд переваг двоярусної фурми порівняно із одноярусною фурмою класичної конструкції [4].

Перші промислові конструкції двоярусних фурм були розроблені Дніпровським металургійним інститутом та Криворізьким металургійним заводом «КМЗ» в умовах роботи 130 – т конвертерів [3]. Параметри фурм наведено у (табл.1).

Таблиця 1 – Конструктивні параметри перших промислових конструкцій двоярусних фурм, що були випробувані на 130-т кисневих-конвертерах «КМЗ» в Україні [3]

Характеристики	Одиниці вимірювання	Тип фурми							
		1	2	3	4			5	
					А	Б	В	А	Б
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Відстань між ярусами	мм	1650	1650	1650	1650	1100	2000	1650	2000
Кількість сопел Лаваля	шт.	5	5	5	5	5	5	5	5
Кут нахилу сопел Лаваля	град.	20	20	20	20	20	20	20	20
Кількість циліндричних сопел	шт.	6	6	8	8	8	8	8	8
Кут нахилу циліндричних сопел	град.	45	25	20	30	30	30	30	30
Діаметр циліндричних сопел	мм	15	18	18	18	18	18	18	18
Розташування циліндричних сопел		Рівномірне						Нерівномірне	

Використання цих конструкцій двоярусних фурм забезпечило в умовах роботи 130-т кисневих конвертерів «КМЗ» [3]:

- підвищити долю лому у шихті від 30 до 32%;
- зменшити винос пилу з конвертера;
- знизити витрати рідкого чавуну від 34 до 78 кг/т сталі;
- збільшити продуктивність конвертеру, завдяки зменшенню тривалості продукви від 10 до 27%;

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2020. – Випуск 34
«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34*

– покращити умови продувки та інтенсифікувати процес шлакоутворення, зменшити частку присадженого плавикового шпату від 0,261 т на плавку.

Окрім Криворізького металургійного заводу «КМЗ» впровадження двоярусних фурм проводилось і на Дніпровському металургійному комбінаті «ДМК». Запропонована конструкція двоярусної фурми для умов роботи 250-т конвертерів «ДМК» на відміну від двоярусної фурми «КМЗ» мала систему центрального підведення охолоджуючої води. У наконечнику фурми «ДМК» було розташовано 9 сопел Лавалю, що були згруповані у 3-ри соплових блоки. Верхній сопловий блок містив 8-м щілинних сопел у шаховому порядку у два ряди з 4-ма щілинними соплами у кожному, він розташовувався на відстані 6 м відносно торця головки фурми (рис. 1) [6].

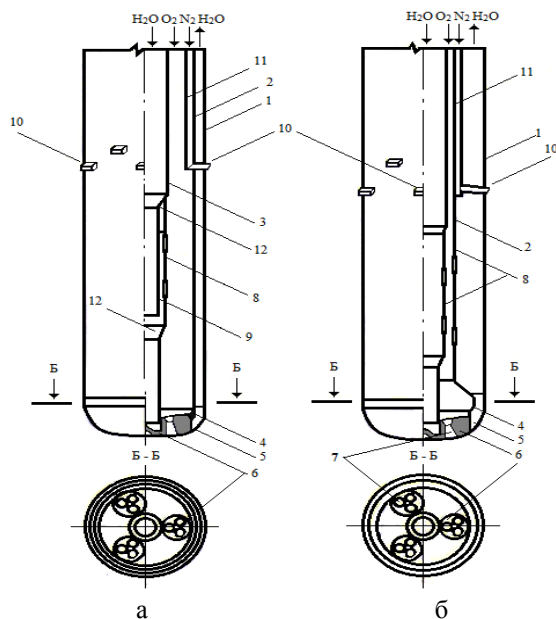


Рисунок 1 – Двоярусні (а, б) конструкції кисневих фурм з центральним охолодженням головок [6]: 1-3 – труби відповідно зовнішня, проміжна та внутрішня; 4 й 5 – верхня та нижня чаші головки; 6 – трисопловий блок; 7–сопло Лавалю; 8–металлошланговий рукав; 9–захисна металева труба; 10–щелеві сопла; 11–тракт для підведення додаткового потоку газу; 12–перехідник

Використання двоярусної фурми з блочним розміщенням сопел Лавала, за умови якісного виготовлення фурми, сприяло підвищенню строку її служби та покращенню експлуатаційних характеристик в умовах використання у великих конвертерах [6].

Нажаль у зв'язку з погіршенням економічної ситуації в металургійній галузі України у період 1990-х років, було зупинено розробки та використання двоярусних конструкцій фурм у вітчизняному киснево-конвертерному виробництві на тривалий час [2, 6]. Це відбулось не дивлячись на те, що з точки зору збільшення кількості додаткових керуючих впливів на перебіг продувки та покращення енергоефективності, використання двоярусних фурм є більш перспективним порівняно з класичними конструкціями [2, 4, 7].

За кордоном використання конструкцій двоярусних фурм, не припинялося в деяких ведучих металургійних країнах світу, наприклад США, Китаї та Японії [5, 8, 9], воно супроводжувалось еволюцією їх конструкцій, режимів роботи, зміною пріоритету вирішення поставлених технологічних завдань. У (табл. 2) наведено конструктивні параметри закордонних двоярусних фурм.

Таблиця 2 – Технічні та технологічні параметри закордонних двоярусних фурм [5, 8]

Показники	Ємність конвертера	Інтенсивність продувки	Кількість сопел	Кут нахилу сопел	Відстань між ярусів	Висота розміщення фурми
	т	м ³ /хв·т	шт	° (град.)	мм	мм
I	II	III	IV	V	VI	VII
Аньшань «АМЗ», (а)	150	Немає свідчень	4л 8ц	14 л 45 ц	1200	Немає свідчень
Аньшань «АМЗ», (б)	180	Немає свідчень	4л 10ц	14,5л 45 ц	1000	Немає свідчень
«Кобесейкосе»	240	2,0-3,5 0,3-1,0	5 л 10 ц	12 л 30 ц	2000	2800 - 2300
«Ниппон кокон»	250	2,3-3,2 0,5-1,0	4 л 8 ц	10 л 30 ц	2000	Немає свідчень
«Хооговенс»	100	3,3 Немає свідчень	3 л 8 ц	Немає свідчень	1000	Немає свідчень
Чисельник (наконечник фурми) Знаменник (верхній продувний блок)						

У період з 2000 – х років на вітчизняному просторі знову почали поступово повертатись до питання розробки та використання двоярусних

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34
«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

фурм на металургійних підприємствах України [1, 2, 9, 11], у зв'язку з необхідністю адаптації режимів продувки до змінних умов сировинної бази.

В Україні впровадження нових конструкцій двоярусних фурм насамперед розпочалось в умовах роботи Криворізького металургійного заводу «КМЗ», що зараз носить назву АрселорМіттал Кривий Ріг ПАТ «АМКР» [2, 7] та Єнакіївського металургійного заводу ПАТ «ЄМЗ» [11] параметри фурм наведено у (табл. 3).

Таблиця 3 – Параметри двоярусних фурм, розроблених для умов роботи 160-т конвертерів ПАТ «АМКР» та ПАТ «ЄМЗ» [2, 11]

Показники	Ємність конвертера	Інтенсивність продувки	Кількість сопел	Кут нахилу сопел	Відстань між ярусів	Висота розміщення фурми
	т	м ³ /хв·т	шт	° (град.)	мм	мм
I	II	III	IV	V	VI	VII
«АМКР» (а)	160	2,18-2,25 0,16-0,2	4 л 12 ц	15 л 30 ц	2500	2700-1100
«АМКР» (б)	160	2,25 - 2,375 0,16-0,2	5 л 12 ц	20 л 30 ц	2500	2700-1100
«ЄМЗ» (а)	160	2,375-2,65 0,125-0,14	5 л+1 ц 8 ц	20 л+0 ц 30 ц	2500	2500 - 1100
«ЄМЗ» (б)	160	2,375-2,65 0,156-0,218	5 л+1 ц 8 ц	20 л+0 ц 45 ц	2500	2500-1100
Чисельник (наконечник фурми) Знаменник (верхній продувний блок)						

Розробка нових конструкцій багоярусних фурм для умов роботи ПАТ «АМКР», ПАТ «ЄМЗ» відбувалась з застосуванням досвіду закордонних аналогів [9] та високотемпературного моделювання [2, 7, 11]. Схеми конструкцій двоярусних фурм, що передбачались для кисневих конвертерів ПАТ «АМКР» наведено на (рис. 2), ПАТ «ЄМЗ» (рис. 3).

Конструкції двоярусних фурм, що були розроблені для умов роботи 160 – т конвертерів ПАТ «АМКР» повинні були мати два регульованих потоки підведення технологічних газів [7], але нажаль таку розробку не було випробувано в промислових умовах через те, що у киснево-конвертерному цеху було виведено з експлуатації трубопровід подачі кисню до торкет-фурми, який планувався для підведення додаткового кисню до двоярусної фурми. У зв'язку з цим, в умовах ПАТ «АМКР» так само як і на ПАТ «ЄМЗ» було випробувано конструкції з розділенням загального потоку кисню на основний з витратою (від 350 до 400 м³/хв) та додатковий (від 27 до 32 м³/хв) для ПАТ «АМКР» і (від 380 до 460 м³/хв)

на групу основних, а також додаткових сопел (від 20 до 35 м³/хв) фурми для ПАТ «ЄМЗ» [2, 7, 11].

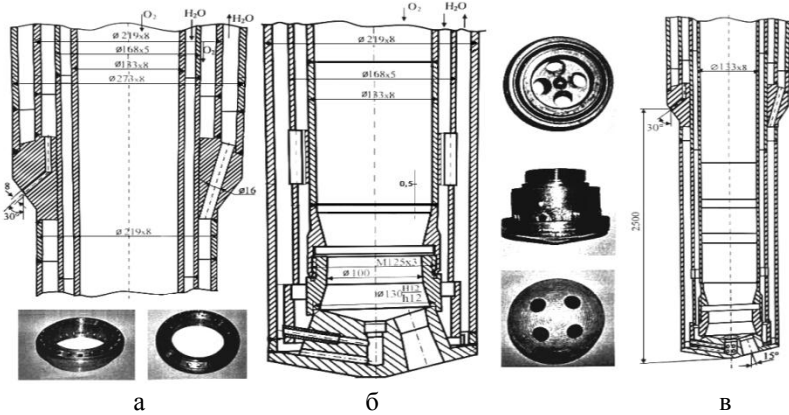


Рисунок 2 – Конструкція і вигляд верхнього (а), нижнього (б) ярусів двоярусної фурми (в) розробленої для умов роботи 160 – т конвертерів ПАТ «АМКР» [2]

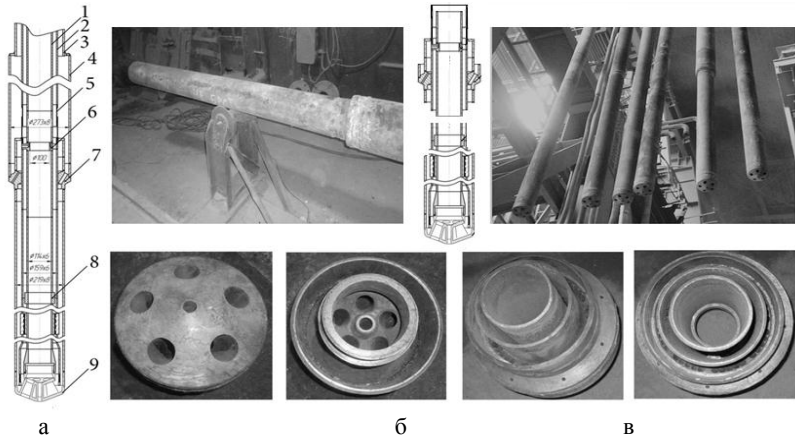


Рисунок 3 – Схема конструкції та вигляду верхнього (а), нижнього (б) ярусів двоярусної фурми (в) розробленої для умов роботи 160 – т конвертерів ПАТ «ЄМЗ» [11]: 1,2,3 – внутрішня, проміжна та зовнішня труби верхньої частини стовбура фурми відповідно; 4 – зовнішня труба середньої частини стовбура фурми; 5- роз'ємний компенсатор; 6 – розподільник; 7 – верхній сопловий блок; 8 – металошланговий компенсатор; 9 – нижній наконечник фурми

Дослідно-промислові плавки з відпрацювання технології продувки ванни 160 – т конвертеру ПАТ «АМКР», ПАТ «ЄМЗ» з використанням розроблених конструкцій двоярусних фурм (табл. 3) було проведено у несприятливих умовах [2, 7, 11]. Не зважаючи на це у ході їх проведення було зафіксовано покращення теплового балансу плавки, шлакоутворення, зниження розвитку викидів та виносів, зменшення розмірів металшлакової охолоді на фурмі та ряд інших переваг [2, 7, 11].

Нажаль конструкції розроблених двоярусних фурм (рис. 2, 3) були виведена з експлуатації у зв'язку з певними технічними обставинами [2, 7, 11]. Під час експлуатації двоярусних фурм в умовах ПАТ «АМКР» та ПАТ «ЄМЗ» спостерігалися складності з компенсацією температурних напруг в стовбурі фурми у зв'язку з застосуванням металошлангових компенсаторів [2, 7, 11], що могло призводити до їх передчасного виходу з ладу та виникненню аварійних ситуацій. Окрім цього під час експлуатації двоярусних фурм спостерігалося утворення прогарів стовбура фурми на певній відстані від верхнього соплового блоку.

Незважаючи на це, проведене співставлення середніх техніко-економічних показників плавок з використанням штатних одноярусних (класичних) та дослідних двоярусних фурм ПАТ «АМКР» (табл. 4) та ПАТ «ЄМЗ» (табл. 5) свідчать [2, 7, 11] про перспективність їх подальшого використання та розробки за умови усунення конструктивних недоліків. У зв'язку з чим є важливою розробка методики розрахунку, що дозволить забезпечити раціоналізацію їх конструкції.

Перші конструкції триярусних фурм в Україні були розроблені у Інституті чорної металургії «ІЧМ» [10, 12] (рис. 4). Співробітниками Інституту чорної металургії «ІЧМ» та Дніпровського державного технічного університету «ДДТУ» спільно було проведено відпрацювання продувки конвертерної ванни з застосуванням триярусних фурм у лабораторних умовах на 60-кг конвертерах [12]. У результаті проведення експериментів з застосуванням триярусної фурми спостерігалася інтенсифікація шлакоутворення з формуванням спіненої шлакометалевої емульсії до кінця 1/3 продувки, ефективне видалення фосфору за умови вмісту вуглецю від 4,6 до 3,2%, підвищення ефективності допалювання з запобіганням локального зношування футерівки й інтенсивного заметалювання стовбура фурми й горловини конвертера [12]. Спираючись на отримані результати для умов роботи 160-т конвертерів ПАТ «АМКР» було розроблено конструкцію триярусної фурми з незалежним підведенням газу на сопла верхнього додаткового продувального блоку та об'єднаним підведенням на групи сопел Лаваля та циліндричних

головного продувного блоку фурми. Витрата основного кисневого потоку складала від 380 до 400 м³/хв, додаткового від 20 до 40 м³/хв [12].

Таблиця 4 – Середні техніко-економічні показники плавок з застосуванням штатних одноярусних та дослідних конструкцій двоярусних кисневих фурм на ПАТ «АМКР» [2, 7]

п/п	Показники	Тип кисневих фурм		
		Штатна з 5-ти сопловим наконечником	Двоярусна з 4-х сопловим нижнім наконечником	Двоярусна з 5-ти сопловим нижнім наконечником
I	II	III	IV	V
1	Маса металозавалки, т: - чавуну - лому	163,53 124,94 38,59	161,74 123,74 38,0	161,60 124,40 37,30
2	Доля лому, %	23,6	23,5	23,1
3	Витрата, кг/т рідкої сталі: - чавуну - лому - металошихти - вапна - плавикового шпату - вугілля - доломіту	853,4 263,5 1116,9 68,21 1,40 1,91 0,54	858,4 263,6 1122,0 64,9 1,31 1,85 0,95	856,5 256,8 1113,3 67,6 1,10 1,07 0,49
4	Витрата кисню на продувку, м ³ /хв.	383	388	398
5	Інтенсивність продувки м ³ /т·хв	2,61	2,70	2,74
6	Тривалість продувки, хв.	18,4	18,3	18,1
7	Температура чавуну, °С	1308	1293	1341
8	Температура металу на випуску, °С	1605	1608	1610
9	Вихід рідкої сталі, %	89,52	89,12	89,87

Таблиця 5 – Середні техніко-економічні показники плавок з застосуванням штатних одноярусних та дослідних конструкцій двоярусних кисневих фурм на ПАТ «СМЗ» [11]

№ п/п	Показники	Опитні плавки	Порівняльні плавки	Зміна показника
I	II	III	IV	V
1	Маса металозавалки, т: - чавуну - лому	157,5 115,8 35,6	157,8 115,39 36,01	-0,3 0,41 -0,41

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34
«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

2	Доля лому, %	23,6	23,5	0.1
3	Витрата шлакоутворюючих та теплоносіїв, кг/т рідкої сталі: - вапно - ФМБУЖ - вугілля АМ	40,7 5,9 2,2	42,3 7,4 4,5	-1,6 -1,5 -2,3
4	Витрата кисню на продувку, м ³ /хв.	430	418	12
5	Інтенсивність продувки м ³ /т·хв	2,68	2,61	0.07
6	Тривалість продувки, хв.	19,1	19,6	-0,5
7	Температура чавуну, °С	1313	1320	-7
8	Температура металу на випуску, °С	1610	1618	-8
9	Вихід рідкої сталі, %	89,2	89,0	0,2

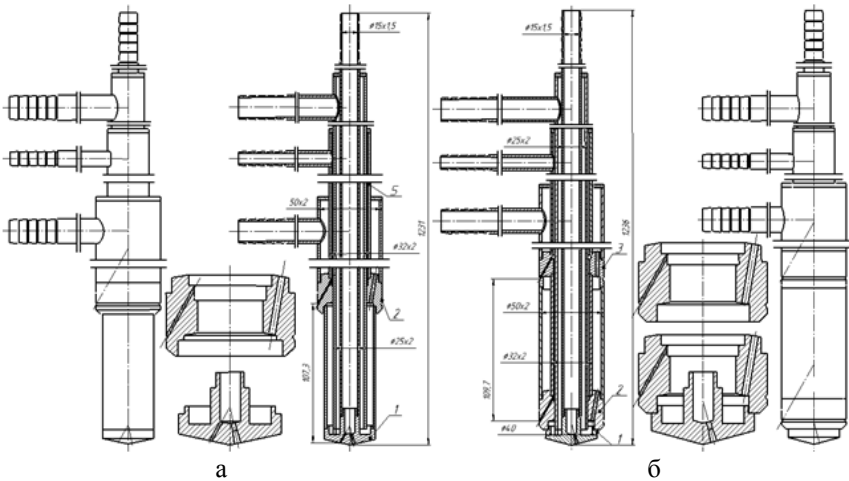


Рисунок 4 – Схема конструкцій лабораторних триярусних фурм (а) з незалежним підведенням газу на циліндричні сопла верхнього продувального блоку та (б) з незалежним підведенням основного газового потоку на групу сопел Лавалю та циліндричні сопла нижнього та верхнього додаткових продувальних блоків

Триярусну фурму для умов роботи 160-т конвертерів ПАТ «АМКР» було оснащено нижнім 12-ти сопловим двоярядним головним продувним блоком, у якому під кутом нахилу до вертикалі ($\alpha_1 = 12^\circ$) розміщуються колом у внутрішньому ряді 4 сопла Лаваля ($d_{кр} = 41$ мм, $d_{вих} = 49$ мм), а в зовнішньому ряді 8 циліндричних сопел ($d_{ц} = 9$ мм; $\alpha_2 = 30^\circ$), що формують відповідно основні надзвукові й додаткові звукові струмені під час подачі основного кисню, а також верхнім додатковим 8-ми сопловим блоком ($d_{ц} = 13$ мм; $\alpha_3 = 30^\circ$), (розміщеним на відстані 2600 мм від торця головного продувного блоку фурми), що забезпечує під час подачі додаткового кисню (азоту) формування звукових струменів, призначених для часткового допалювання відхідних газів і створення другої завіси над зоною продувки із забезпеченням зниження інтенсивності заметалювання технологічного устаткування [12]. Застосування такої конструкції фурми могло забезпечити підвищення виходу рідкої сталі в межах від 0,3 до 0,5 %, зниження витрат чавуну від 10 до 15 кг/т та вапна від 10 до 15 кг/т сталі [12]. Нажаль впровадження представленої конструкції триярусної фурми в умовах ПАТ «АМКР» було відкладено на певний час, через складну економічну ситуацію в металургійній галузі України, що спостерігається в останні роки.

У цілому можна відзначити, що використання багатоярусних фурм у сучасних умовах роботи киснево-конвертерних цехів Національних металургійних підприємств України забезпечить:

- збільшення кількості керуючих дій на хід продувки, що дозволяє стабілізувати розвиток фізико-хімічних процесів та спокійний хід продувки;
- покращення теплового балансу конвертерної плавки, чому сприятиме підвищення показника допалювання CO до CO₂;
- одночасну продувки двома типами газів, що дозволяє корегувати шлаковий режим та розвиток макрофізичних явищ у ході продувки;
- збільшення кількості металевого лому у завалці, вапна, плавикового шпату, агломерату та хромової руди, без застосування додаткових енергоносіїв;
- зменшення інтенсивності заметалювання фурми та киснево-конвертерного обладнання.

Загалом у результаті аналізу досвіду використання багатоярусних фурм у промислових умовах, а саме двоярусних під час експлуатації чітко визначились такі недоліки [2, 3, 5, 7, 8, 9, 11]:

- спостерігалось суттєве локальне зношування футерівки конвертеру напроти кожного з сопел верхнього ярусу на відстані від 400 до 800 мм

вище точки перетину осі сопла та поверхні кладки (у районі горловини конвертеру);

– ускладнення технічних операцій та збільшення їх кількості під час проведення ремонтних робіт, що пов'язано з нераціональністю конструктивних рішень;

– інтенсивне зношування профілю сопел фурми у ході продувки, що призводить до невідповідності дуттьового режиму необхідним показникам продувки;

– передчасний вихід головного продувного блоку фурми з експлуатації порівняно з верхнім додатковим продувним блоком;

– утворення прогарів стовбура фурми на певній відстані від верхнього додаткового продувного блоку;

– низька ефективність застосування додаткового продувного блоку, у зв'язку з розробкою конструкцій двоярусних фурм з розміщенням верхнього додаткового продувного блоку відносно торця головного продувного блоку фурми, без урахування характеру формування зони взаємодії кисневих струменів з поверхнею ванни.

Проведені дослідження дозволили визначити, що недоліки, котрі спостерігалися у ході промислової експлуатації, багатоярусних фурм насамперед пов'язані з недосконалістю емпірично розроблених конструкцій. Ці недоліки можуть бути усунені за рахунок розроблення раціональної конструкції багатоярусної фурми, чому буде сприяти створення відповідної методики розрахунку для її основних конструктивних параметрів.

Основні висновки. Використання багатоярусних фурм у киснево-конвертерних цехах металургійних підприємств України пройшло перевірку часом та неодноразово демонструвало доцільність та ефективність застосування, порівняно з класичними конструкціями одноярусних фурм, але було припинено, через складну економічну ситуацію в металургійній галузі.

Застосування багатоярусних фурм дозволяє: збільшити кількість керуючих дій на хід продувки та тим самим стабілізувати розвиток фізико-хімічних процесів, спокійний хід продувки; покращити тепловий баланс конвертерної плавки; підвищити показника допалювання CO до CO₂; забезпечити за необхідності одночасну продувку двома типами газів; збільшити кількість металевого лому у завалці, вапна, плавикового шпату, агломерату та хромової руди, без застосування додаткових енергоносіїв; зменшити інтенсивність заметалювання фурми та киснево-конвертерного обладнання.

Виконані дослідження у роботі дозволили визначити, що недоліки, котрі спостерігалися у ході промислової експлуатації, багатоярусних фурм насамперед пов'язані з недосконалістю емпірично розроблених конструкцій. Ці недоліки можуть бути усунені за рахунок розроблення раціональної конструкції багатоярусної фурми, чому буде сприяти створення відповідної методики розрахунку для її основних конструктивних параметрів.

Перелік посилань

1. *Состояние и дальнейшее совершенствование конструкций кислородных фурм в конвертерных цехах Украины* / А.Д. Зражевский, А.Г. Чернятевич, А.В. Сущенко, А.С. Гриценко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2014. №6. С. 20-30.
2. *Разработка конструкции двухъярусной фурмы и режима продувки ванны 160 - т конвертеров ПАО «АрселорМиталл Кривой Рог» с ее использованием* / А.Г. Чернятевич, Е.Н. Сигарев, И.В. Чернятевич [и др.] // *Теория и практика металлургии*. 2012. №5-6. С. 76-85.
3. *Работа 130-т конвертеров, оборудованных двухъярусными фурмами* / В.И. Баптизманский, В.О. Куликов, А.Т. Китаев [и др.] / *ОАО «Черметинформация»: Бюллетень «Черная металлургия»*. 1974. Т. 6. С. 2-14.
4. *Никифоров Б.В., Корченко В.П., Гончаренко Г.Н.* Исследование работы кислородного конвертера с использованием двухъярусной фурмы // *Сборник научных трудов «Производство и свойства стали и сплавов»*. ЦНИИЧМ. Москва : Металлургия. 1968. №63. С. 15-18.
5. *Смоктий В.В., Лапицкий В.В., Белокуров Э.С.* Комбинированные процессы выплавки стали в конвертерах. Киев : Техника, 1992. 163 с.
6. *Этапы разработки и направления совершенствования конструкций кислородных фурм в конвертерном цехе Днепровского металлургического комбината* / А.Г. Чернятевич, Л.М. Учитель, В.В. Несвет [и др.] // *Металл и литье Украины*. 1996. №9-10. С. 42-47.
7. *Новые направления в использовании двухъярусных фурм для продувки конвертерной ванны* / А.Г. Величко, А.Г. Чернятевич, Е.Н. Сигарев [и др.] // *Теория и практика металлургии*. 2011. №5-6. С.12-18.
8. *Величко А.Г.* Современный опыт проектирования и применения кислородных фурм в сталеплавильном производстве КНР (по материалам Всекитайского совещания по проектированию, изготовлению и применению кислородных фурм) // *Черная металлургия: Бюллетень «НТИ»*. 1992. №10. С. 39-42.
9. *Rymarchyk N.* Post combustion lance in Basic Oxygen Furnace (BOF) operations / *N. Rymarchyk // Steelmaking Conference Proceedins*. 1998. P.445-449.
10. *Чернятевич А.Г., Юшкевич П.О.* Комбинированная продувка конвертерной ванны с использованием трехъярусной фурмы // *Литье. Металлургия*. 2015:

Материалы XI Международной научно-практической конференции, Запорожье, 26-28 мая 2015 г., Запорожье: «ЗТПП», 2015. С. 437-438.

11. Чернятевич А.Г., Коваленко А.Г., Сущенко А.В. Разработка и совершенствование конструкции двухъярусной фурмы для 160-т конвертеров ПАО «ЕМЗ» // Теория и практика металлургии. 2014. №3-6. С. 20-28.
12. Чернятевич А.Г., Молчанов Л.С., Юшкевич П.О. Направления повышения эффективности продувки ванны 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» // Теория и практика металлургии. 2017. №3-4. С. 79-85.

Reference

1. Zrazhevskiy A.D., Chernyatevich A.G., Sushchenko A.V. & Gritsenko A.S. (2014). Sostoyaniye i dalneysheye sovershenstvovaniye konstruktсий kislородnykh furn v konvertornykh tsekhakh Ukrainy [State and further improvement of oxygen tuyere structures in converter shops of Ukraine]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost [Metallurgical and mining industry]*, 2014, 6, 20-30. [In Russian].
2. Chernyatevich A.G., Sigarev Ye.N. & Chernyatevich I.V. et al. (2012). Razrabotka konstruktсий dvukhyarusnoy furny i rezhima produvki vannы 160 - t konvertеров PAO «ArcelorMittal Krivoy Rog» s yeye ispolzovaniyem. [Development of the design of a two-tier lance and a mode for blowing a bath of 160 - t converters of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih" with its use]. *Teoriya i praktika metallurgii [Theory and practice of metallurgy]*, 2012, 5-6, 76-85. [In Russian].
3. Baptizmanskii V.I., Kulikov V.O. & Kitayev A.T. et al. (1974). Rabota 130-t konvertеров, oborudovannykh dvukhyarusnymi furnami [Operation of 130-ton converters equipped with two-tier tuyeres]. *OAO «Chermetinformatsiya»: Byulleten «Chernaya metallurgiya» [Ferrous Metallurgy Bulletin]*, 1974, 6, 2-14. [In Russian].
4. Nikiforov B.V., Korchenko V.P. & Goncharenko G.N. (1968). Issledovaniye raboty kislородnogo konvertера s ispolzovaniyem dvukhyarusnoy furnы [Investigation of the operation of the oxygen converter using a two-tier lance]. *Sbornik nauchnykh trudov «Proizvodstvo i svoystva stali i splavov» [Collection of scientific papers "Production and properties of steel and alloys"]*. TSNIICM. Moskva: Metallurgiya, 1968, 63, 15-18. [In Russian].
5. Smoktiy V.V., Lapitskiy V.V. & Belokurov E.S. (1992). *Kombinirovannyye protsessы vyplavki stali v konverterakh [Combined processes of steel smelting in converters]*. Kiev: Tekhnika, 1992, 163 p. [In Russian].
6. Chernyatevich A.G., Uchitel L.M. & Nesvet V.V. et al. (1996). Etapy razrabotki i napravleniya sovershenstvovaniya konstruktсий kislородnykh furn v konvertерном tsekhе Dneprovskogo metallurgicheskogo kombinata [Development stages and directions for improving the designs of oxygen tuyeres in the converter shop of the Dneprovsky metallurgical plant]. *Metall i litye Ukrainy [Metal and casting of Ukraine]*, 1996, 9-10, 42-47. [In Russian].
7. Velichko A.G., Chernyatevich A.G. & Sigarev Ye. N. et al. (2011). Novyye napravleniya v ispolzovanii dvukhyarusnykh furn dlya produvki konvertерной vannы [New directions in the use of two-tier tuyeres for purging a converter bath].

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2020. – Випуск 34
«Fundamental'nye i prikladnye problemy čerноj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

- Teoriya i praktika metallurgii [Theory and Practice of Metallurgy], 2011, 5-6, 12-18. [In Russian].*
8. Velichko A.G. (1992). Sovremennyy opyt proyektirovaniya i primeneniya kislorodnykh furn v staleplavilnom proizvodstve KNR (po materialam Vsekitayskogo soveshchaniya po proyektirovaniyu, izgotovleniyu i primenenyu kislorodnykh furn) [Modern experience in the design and use of oxygen tuyeres in the steelmaking industry of China (based on the materials of the All-China meeting on the design, manufacture and use of oxygen tuyeres)]. *Chernaya metallurgiya: Byulleten «NTI» [Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economical Information], 1992, 10, 39-42. [In Russian].*
 9. Rymarchyk N. (1998). Post combustion lance in Basic Oxygen Furnace (BOF) operations. *Steelmaking Conference Proceedins, 1998, 445-449.*
 10. Chernyatevich A.G. & Yushkevich P.O. (2015). Kombinirovannaya produvka konverternoy vanny s ispolzovaniyem trekhyarusnoy furny [Combined blowing of a converter bath using a three-tiered lance]. *Litye. Metallurgiya. 2015: Materialy KHÍ Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (26-28 maya 2015 g) [Casting. Metallurgy. Materials of the XI International Scientific and Practical Conference]. Zaporozhie: «ZTPP», 2015, p.p. 437-438. [In Russian].*
 11. Chernyatevich A.G., Kovalenko A.G. & Sushchenko A.V. (2014). Razrabotka i sovershenstvovaniye konstruksii dvukhyarusnoy furny dlya 160-t konverterov PAO «YEMZ» [Development and improvement of the design of a two-tier lance for 160-ton converters of PJSC "EMZ"]. *Teoriya i praktika metallurgii [Theory and practice of metallurgy], 2014, 3-6, 20-28. [In Russian].*
 12. Chernyatevich A.G., Molchanov L.S. & Yushkevich P.O. (2017). Napravleniya povysheniya effektivnosti produvki vanny 160-t konverterov PAO «ArcelorMittal Krivoy Rog» [Directions for increasing the efficiency of bath blowing of 160-ton converters of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih"]. *Teoriya i praktika metallurgii [Theory and practice of metallurgy], 2017, 3-4, 79-85. [In Russian].*

P.O. Yushkevich, PhD, Researcher, ORSID 0000-0002-2675-0737

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

Experience and current state of use of the multi-tiered tuyeres in the oxygen-converter craft-shops of Ukraine

Summary. To date, the most common in the oxygen-converter shops of metallurgical enterprises of Ukraine is the top purge using single-tier lances. Therefore, it is important to conduct research to improve the design of lances. The article is devoted to the results of the study of the use of multilevel lances. For the first time the main stages of development and use of multilevel lances in oxygen-converter shops of metallurgical enterprises of Ukraine from the moment of their origin to the present time are fully described. The first constructions of two-tier and three-tier structures of lances, which passed industrial or experimental tests in Ukraine, were developed at the Institute of Ferrous Metallurgy of the National Academy of Sciences of Ukraine. It is shown that multilevel lances in oxygen-converter shops of metallurgical enterprises of Ukraine have repeatedly demonstrated the feasibility and effectiveness of their use, compared with the

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2020. – Випуск 34
«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34*

classic designs of single-storey lances. But due to the difficult economic situation in the metallurgical industry, the use of such lances was stopped. It is established in the work that the use of multi-level lances allows: to increase the number of control actions on the purge and thus stabilize the development of physicochemical processes, the calm purge; to improve the heat balance of converter smelting; to increase the rate of afterburning of CO to CO₂; provide, if necessary, simultaneous purging with two types of gases; increase the amount of scrap metal in the filling, lime, fluorspar, sinter and chromium ore, without the use of additional energy; reduce the intensity of sweeping of lance and oxygen-converter equipment. Studies have shown that the shortcomings in the process of industrial operation of multi-layered lances are primarily due to the imperfection of empirically designed structures. The ways of elimination of shortcomings of multilevel lances due to development of a rational design and the corresponding technique of calculation of its basic constructive parameters are shown.

Keywords: oxygen converter, top purge, multi-tier tuyere, two-tier tuyere, three-tier tuyere.

For citation: *Yelisyeyev V.I., Shevchenko S.O., Tolstopyat O.P., Fleer L.O., Shevchenko A.F.* Dynamika kolyvannya systemy "ridka vanna - furma" pry inzhektsiyniy obrobtisi rozplavu v kovshi. [Dynamics of oscillation of the system "liquid bath - lance" during injection processing of the melt in the bucket.]. *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii»*. [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy] 2020, 34. 101-116. (In Ukrainian).
DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-101-116

*Стаття надійшла до редакції збірника 2.11.2020 року,
пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування.
(Протокол засідання редакційної колегії №3 від 22 грудня 2020 р.)*