

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

ЛЮ ТЯНЫ

УДК 669.184.244.66

**ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНИХ ФУРМ
РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ ПРИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

**Спеціальність – 05.16.02 «Металургія чорних
і кольорових металів та спеціальних сплавів»**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м. Дніпро - 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національній металургійній академії України
Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро)

Науковий керівник:

член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор
Величко Олександр Григорович
Національна металургійна академія
України МОН України (м. Дніпро),
ректор

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Сігарьов Євген Миколайович,
завідувач кафедри металургія чорних
металів Дніпровського державного
технічного університету, м. Кам'янське
доктор технічних наук
Дудченко Сергій Олександрович,
старший науковий співробітник
відділу фізико-технічних проблем
металургії сталі Інституту чорної
металургії ім. З.І.Некрасова НАН
України, м. Дніпро
кандидат технічних наук

Захист відбудеться **«02» грудня 2020** р. о **11⁰⁰** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.084.03 в Національній металургійній академії України за адресою: 49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національної металургійної академії України за адресою: 49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

Автореферат розісланий **«30» жовтня 2020** р.

Вчений секретар спеціалізованої
Вченої ради Д 08.084.03,
доктор технічних наук, професор
E-mail: lydmila_kamkina@ukr.net

_____ Камкіна Л.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В Україні та промислово розвинених країнах згідно з прогнозами розвитку металургійної промисловості конвертерний процес буде залишатися основним способом виробництва сталі, завдяки своїй високій продуктивності, гнучкості, широким технологічним можливостям. Це вимагає посилення уваги до вдосконалення технології конвертерної плавки, покращення її показників і підвищення якості металу, що виплавляється, при мінімальних витратах матеріальних і енергетичних ресурсів і зменшення шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Вирішення цих завдань нерозривно пов'язане з оптимізацією параметрів дуттьових режимів і пристроїв, які є одним із основних і найбільш універсальних керуючих впливів на хід і техніко-економічні показники плавки. Одним із основних напрямків вирішення даної проблеми є вдосконалення існуючих і розробка нових конструкцій кисневих фурм і відповідних режимів продувки конвертерної ванни.

Вирішальною складовою процесу є продувка металеві ванни, киснем через верхню кисневу фурму, наконечник якої організує дуттьовий режим. Разом з тим, наконечник фурми, його конструкція параметри не задовольняють в повній мірі вимог виробників щодо стійкості, технологічних показників конвертерного процесу. Питання вдосконалення та оптимізації дуттьових режимів і пристроїв кисневих конвертерів, в тому числі в шихтових і виробничих умовах, що змінюються, розглядалися в ряді досліджень Каплун П.Р., Айзатулов Р.С., Величко О.Г., Сущенко А.В., Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М. та інших. Звернуто увагу, що при використанні фурм з центральним підведенням води або підведенням кисню може бути забезпечено ефективне охолодження найбільш тепло напружених ділянок мідної головки фурми – центральної частини її нижнього торця та передньої частини вихідних ділянок продувних сопел. Однак, в за соплових областях наконечника утворюються зони з вихровим низько швидкісним рухом води, що призводить до погіршення охолодження задньої частини вихідних ділянок сопел і місць їх з'єднання з нижньою торцевою частиною головки, руйнування при соплових зварних швів і зниження стійкості наконечника в цілому. Запропоновано ряд технічних рішень, спрямованих на ліквідацію за соплових застійних зон і поліпшення охолодження наконечників кисневих фурм з центральним підведенням води. Однак не всі розроблені варіанти конструкцій систем охолодження наконечників виявились досить ефективними. Відсутні відомості про результати експериментальних і аналітичних досліджень впливу вдосконалення конструкції наконечника кисневої фурми, способів їх виготовлення на охолодження теплоємних поверхонь наконечників, ліквідацію «застійних» зон і розжар в біля соплових зонах на зовнішній поверхні вінця, встановлення нових ефектів щодо руху охолоджуючої води в наконечнику нової конструкції. Тому дослідження роботи наконечників кисневої фурми, впливу параметрів дуттьового режиму на показники конвертерної плавки, конструкції і технології виготовлення наконечників, що оптимізує технологічні операції, зборку, зменшує витрати на виробництво є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в Національній металургійній академії України Міністерства освіти

і науки України відповідно до напрямів наукових досліджень кафедр металургії чавуну і сталі і кафедри технології машинобудування. Розглянуті в дисертаційній роботі актуальні проблеми і завдання відповідають пріоритетам Державної програми розвитку гірничо-металургійного комплексу України. Основу роботи складають результати досліджень з науково-дослідних робіт «Розробка наукових основ виплавки та розливки сталей з підвищеним рівнем властивостей на підставі новітніх енерго- та ресурсозберігаючих процесів» (№ДР 0112U000643).

Мета роботи: встановлення закономірностей гідродинаміки охолодження наконечників киснево-конверторної фурми, вдосконалення їх конструкції і технології виготовлення, забезпечення розрахункового витікання кисневих струменів для ефективної киснево-конверторної плавки, підвищення стійкості наконечників.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних завдань:

- проаналізувати стан досліджень і розробки киснево-конвертерних фурм та підвищення ефективності конверторної плавки при їх експлуатації;
- узагальнити та виконати аналіз конструкцій наконечників киснево-конвертерних фурм, їх виготовлення, стійкості та роботи в умовах киснево-конвертерних цехів;
- запропонувати нові технічні рішення щодо організації охолодження наконечників киснево-конвертерних фурм та способів підвищення їх надійності і ефективності в роботі;
- розробити математичну модель і виконати дослідження гідродинаміки охолодження наконечників кисневих фурм нових конструкцій;
- створити нову конструкцію наконечника і кисневої фурми, що задовольняють критеріям підвищеної стійкості, надійності та забезпечення високих показників киснево-конверторної плавки;
- розробити і експериментально обґрунтувати нові методи і технології виготовлення наконечників киснево-конвертерних фурм що пропонуються, та їх впливу на результати киснево-конверторної плавки;
- досягти покращення технологічних показників киснево-конверторної плавки при використанні запропонованих і виготовлених наконечників кисневої фурми нової конструкції.

Об'єкт дослідження – технологія та ефективність киснево-конверторної плавки.

Предмет дослідження - організація стабільного дуттьового режиму продувки при використанні наконечників киснево-конверторної фурми нових конструкцій, технологія їх виготовлення і зборки, гідродинамічні закономірності охолодження наконечників киснево-конвертерних фурм, технологічні особливості конверторної плавки.

Методи дослідження: вирішення задач, що поставлені в роботі, забезпечуються методами математичного моделювання, металографічними дослідженнями, теорією і закономірностями в конверторному виробництві та машинобудуванні, статистичним аналізом промислових експериментів з фіксацією основних параметрів киснево-конверторної плавки. Усі експериментальні

дослідження виконані з використанням повіреного і сертифікованого, відповідно до діючої нормативно-правової бази, обладнання та устаткування.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримані результати щодо організації охолодження наконечників киснево-конвертерної фурми та запропонована нова конструкція наконечників на основі вінця і соплового блоку з турбулізаторами у вигляді спіралі Архімеда. Встановлено, що висока швидкість охолоджуючих потоків і ефективність охолодження досягаються організацією зміни спрямування потоків безпосередньо в наконечнику з периферії на центральну частину і застосуванням направляючих турбулізаторів потоків у вигляді спіралі Архімеда на внутрішній поверхні вінця та компенсаторами температурних навантажень.

2. Вперше науково обґрунтована і експериментально підтверджена доцільність турбулізації охолоджуючих потоків в застійних зонах наконечників кисневої фурми. Це дозволяє забезпечити високу швидкість охолоджуючих потоків в районах застійних зон та їх зникнення, що в свою чергу виключає розжар сопел на зовнішній поверхні вінця і організує витікання кисневих струменів в розрахунковому режимі протягом експлуатації наконечника.

3. Вперше розроблений і застосований модульний принцип виготовлення наконечників киснево-конвертерних фурм та реалізований комплексний підхід щодо організації і турбулізації охолоджуючих потоків, компенсації температурних навантажень, захисту зовнішньої поверхні вінця наконечника.

4. Вперше металографічними дослідженнями доведена можливість використання пайки при зборці нероз'ємних деталей наконечника. Металографічний аналіз структури швів пайки на кордоні сталь-латунь, латунь-мідь показав рівномірну структуру і фазовий склад, шов не мав ознак розслоєння, макротріщин, раковин, пор і мав міцне з'єднання.

5. Вперше стосовно зовнішньої поверхні вінця наконечника досліджені електроіскрове легування, підготовка поверхні і паро плазмове нанесення покриття.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Наконечники нової конструкції виготовлені за запропонованими і реалізованими технологіями для киснево-конвертерних фурм 60т і 160т конвертерів в Україні та конвертерів заводу «Chengde Steel» (КНР).

2. Суттєво покращена технологічність зборки, на 30-40% зменшені витрати на виробництво наконечників, знижено матеріалоемність і енергоемність виготовлення, підвищена надійність експлуатації.

3. Розроблені на основі теоретичних і практичних досліджень наконечники киснево-конвертерних фурм нових конструкцій використані для продувки киснем металевої ванни в 60т і 160т конвертерах заводів України. Експлуатація наконечників показала відсутність розжару сопел на зовнішній поверхні вінця, що забезпечувало стабілізацію дуттьового і шлакового режимів на всьому періоді експлуатації наконечників. Стійкість наконечників складала 450-600 плавов, що у 2-3 рази перевищувало стійкість наконечників, що використовувалися в цеху до прийняття в експлуатацію наконечників нової конструкції.

4. В результаті застосування наконечників киснево-конвертерних фурм нових конструкцій на 160т конвертерах вихід рідкої сталі збільшився на 0,6%, що в

першу чергу, пов'язано зі зменшенням оксидів заліза в шлаку. Суттєво зменшена чисельність плавок, що «передуті» на вміст вуглецю <0,05%.

5. Практикою використання 6-ти соплових наконечників з центральним підводом води на заводі «Chengde Steel» (КНР) доведені покращені умови охолодження наконечника, досягнуті кращі результати по видаленню фосфору, швидше «запалювалася» плавка, значно зменшилося налипання шлаку на фурму. На плавках, що були продуті запропонованими і виготовленими наконечниками киснево-конвертерних фурм скоротилися витрати метало-шихти, тривалість продувки.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є результатом самостійної і колективної роботи автора, що відображено низкою публікацій результатів досліджень, виконаних зі співробітниками кафедр «Металургії сталі» і «Технології машинобудування» Національної металургійної академії України та співробітниками підприємств.

Особистий внесок здобувача полягає в: аналізі конструкцій сучасних наконечників киснево-конвертерних фурм, способів їх виготовлення, що використовуються в конвертерних цехах України і Китайської Народної Республіки, з обґрунтуванням нових технічних рішень щодо розробки конструкцій наконечників і технологій їх виготовлення [19,20], розробці наконечника з штампованим мідним вінцем і стальним сопловим блоком, що з'єднаний з направляючою тарілкою, телескопічного компенсатору термічних і механічних впливів, конструюванні наконечників на основі модульних технологій їх виготовлення, розробці конструкції наконечника з турбулізаторами охолодження у вигляді спіралі Архімеда, обґрунтуванні і розробці технології нанесення бар'єрного кластерного покриття на зовнішній мідній поверхні вінця наконечника [1,7,10,12,17], дослідженні охолодження наконечників кисневих фурм з порівнянням швидкостей охолоджуючих потоків води на внутрішній поверхні вінця запропонованих конструкцій наконечника [9,11,12], розробці нових ресурсозберігаючих технологій виготовлення і зборки наконечників кисневих фурм, штампів та технологій штамповки мідного вінця та соплового блоку з направляючою тарілкою, застосуванні пайки для з'єднання складових наконечника [2,4,6], випробуванні наконечників кисневих фурм, що розроблені і виготовлені в умовах роботи 60т і 160т конвертерів в Україні, аналізі і оцінці ефективності роботи наконечників нової конструкції в промислових умовах [5], в тому числі наконечника з двухрядним розташуванням сопел і киснево-конвертерної фурми з центральним підводом охолоджуючої води з шести сопловим наконечником [3,13].

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення дисертації обговорені на наукових семінарах кафедр металургії сталі і технології машинобудування Національної металургійної академії України МОН України. Основні положення і результати роботи були розглянуті на міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (м. Дніпро, 2017р.), на XI і XII International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» (Varna, Bulgaria, 2015 і 2016).

Публікації. Загальна кількість публікацій за темою дисертації 18, в тому числі: 8 статей в спеціалізованих наукових виданнях, затверджених на момент

публікації ДАК МОН України, 1 стаття в журналі, індексованому в міжнародній наукометричній базі Scopus; 2 статті в журналі, індексованому в міжнародній наукометричній базі Scopus; 3 публікації в матеріалах міжнародних наукових конференцій; 4 патенти України.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з титульної сторінки, анотації, змісту, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 100 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 135 сторінок тексту, в тому числі 87 рисунків і 15 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і завдання дисертації, визначені об'єкт, предмет і методи досліджень, представлена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, відзначений особистий внесок здобувача, наведена інформація щодо публікацій, запровадження основних результатів роботи, структури і обсягів дисертації.

У першому розділі «Сучасні конструкції наконечників киснево-конвертерних фурм, способи їх виготовлення, результати експлуатації та показники конвертерної плавки» наведена інформація про кисневі фурми, параметри і конструкції наконечників, їх стійкість, виконаний аналіз способів виготовлення наконечників, показаний вплив наконечників різних конструкцій на показники конвертерної плавки, зроблені висновки щодо актуальності вдосконалення конструкцій наконечників і кисневих фурм, технологій їх виготовлення і зборки.

У другому розділі «Нові технічні рішення та розробка конструкцій наконечників кисневих фурм і технологій їх виготовлення» на основі виконаного аналізу сучасних конструкцій кисневих фурм і наконечника запропоновано в наконечнику встановлювати направляючу тарілку, при цьому розроблена конструкція наконечника складається, на відміну від тих, що на цей час застосовуються, з двох основних деталей, а саме штампованого мідного вінця 1 та сталевого соплового блоку із направляючою тарілкою 2 (рис. 1). Зборка такої конструкції наконечника представлено на рис. 2.

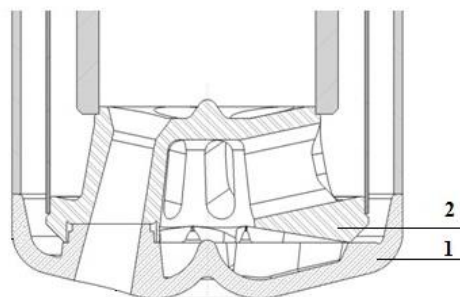


Рис. 1. Конструкція розробленого наконечника зі штамповим мідним вінцем 1 та сталевим блоком із направляючою тарілкою 2

Для компенсації термічного впливу на кисневу фурму розроблена конструкція наконечника з гумовими ущільнювачами і центруючими та направляючими антифрикційними кільцями.

На розроблений компенсатор автором спільно зі співавторами отримано патент України на корисну модель.

Зборка такої конструкції представлено на рис. 2. Продувні сопла мідного вінця 1 стикують і зварюють із соплами сталевого блоку 2, виконаного із направляючою тарілкою. До сталевому блоку 2 приварюється компенсатор температурних розширень 3 із «о»-подібними гумовими ущільнювачами. Кисневу трубу 4 сполучають із компенсатором 3. Розподільну тарілку сталевого блоку 2 суміщають із проміжною трубою 5. На завершення до мідного вінця приварюють зовнішню трубу 6.

Автором запропоновано конструювання наконечників кисневих фурм на основі модульних технологій. За результатами досліджень новий спроектований наконечник мав на 28% менше модулів поверхонь, що дозволяє суттєво зменшити точно оброблювані поверхні.

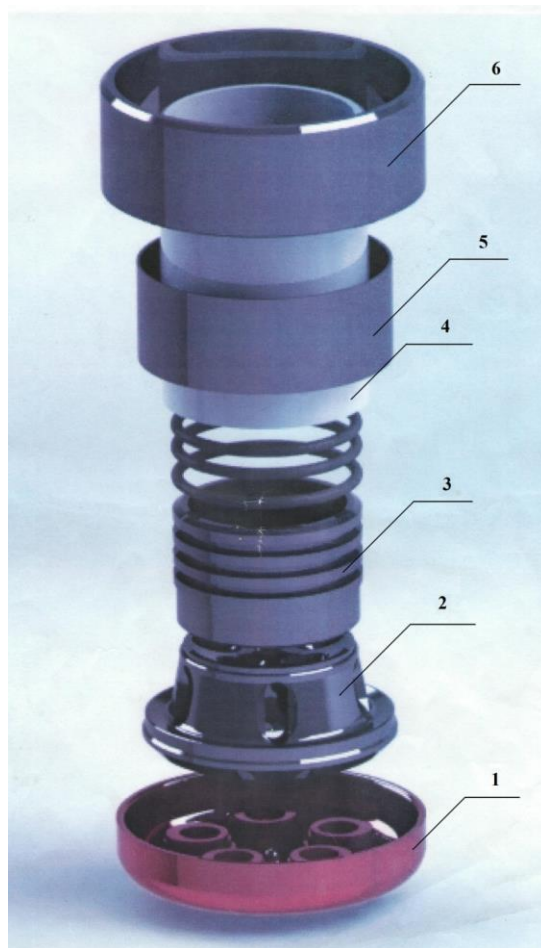


Рис. 2. 3D модель збору розробленого наконечника зі штампованим мідним вінцем 1 та сталевим сопловим блоком, об'єднаним із направляючою тарілкою

Внутрішні поверхні наконечників кисневих фурм утворюють складний простір, в якому розташування продувних сопел перешкоджає ефективному охолодженню через виникнення за соплами застійних зон по ходу руху потоків води. Останнє є однією з причин розпалу лобовини та сопел в районі застійних зон,

що призводить до зниження стійкості дуттьових пристроїв і нестабільній продувці металеві ванни.

Для інтенсифікації охолодження в першу чергу за сопловими зонами запропоновано у наконечнику фурми (рис. 3) на мідному вінці 5 за кожним продувальним соплом по ходу напрямку руху води розміщують по одному турбулізатору потоку рідини у вигляді дугоподібної направляючої лопатки, контур якої є відрізками двох спіралей Архімеда, які описуються виразами:

$$x(\varphi) = 12,8 * \varphi * \sin \varphi, \gamma(\varphi) = 12,8 * \varphi * \cos \varphi \quad (1)$$

- для зовнішньої і

$$x(\varphi) = 12,79 * \varphi * \sin \varphi, \gamma(\varphi) = 12,79 * \varphi * \cos \varphi \quad (2)$$

- для внутрішньої відповідно,

де φ - кут повороту в радіанах (починається дотично до сопла і закінчується на перетині з зовнішнім діаметром фурменної головки), сполучається з радіусом в межах $1/7 - 1/8$ зовнішнього діаметра.

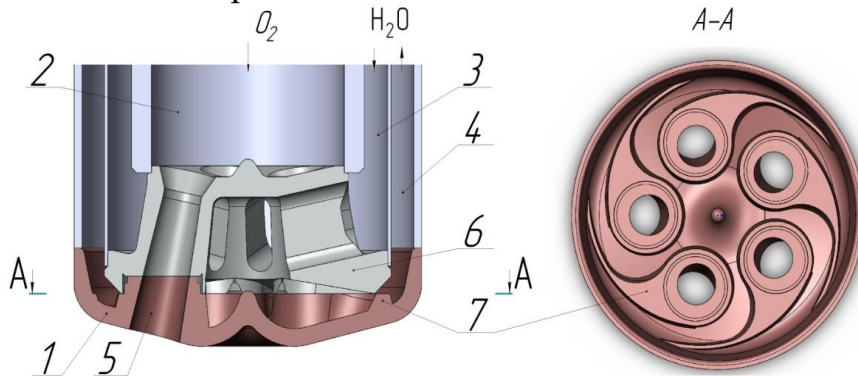


Рис. 3. Кисневий тракт 2; тракт для підведення води; тракт що відводить воду 4; сталевий блок 6 з продувними соплами 5; тарілка, що скеровує потоки до центру мідного вінця 6; турбулізатори 7 потоків води на мідному вінці 1 і турбулізатори 7 потоків води на сталевому блоці 6

Крім того, запропоновано встановити додаткові роздільники потоків у сталевому сопловому блоці (рис. 4) з метою забезпечення перенесення охолоджуючої води з віддалених від стінок областей в пристінковий шар.

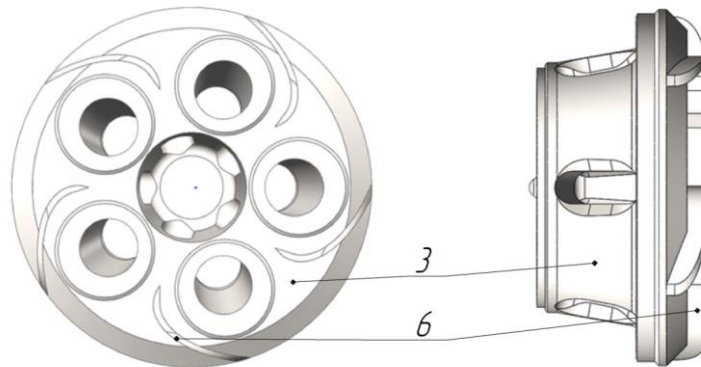


Рис. 4. Сталевий сопловий блок з розподільною тарілкою, на якій розташовані дугоподібні, направляючі лопатки

Такі геометричні параметри розподільників і їх розміщення дозволяє перерозподілити потоки охолоджуючої води і інтенсифікувати охолодження застійних зон, їх розміщення описують виразами:

$$x(t) = -22 * t * \sin t, y(t) = 13 * t * \cos t \quad (3)$$

для зовнішньої і

$$x(t) = -20 * t * \sin t, y(t) = 12 * t * \cos t \quad (4)$$

для внутрішньої відповідно і закінчуються на внутрішньому діаметрі корпусу.

За рахунок цього забезпечується ефективне використання повного об'єму води, що охолоджує при тисках, які застосовуються в конвертерних цехах.

Розроблена конструкція наконечника кисневої фурми з турбулізаторами охолодження захищена автором разом з співавторами двома патентами України на корисну модель.

Для підвищення стійкості наконечників автором запропоновано нанесення кластерних термобар'єрних покриттів на зовнішні поверхні наконечників фурм. Рекомендований оптимальний спосіб підготовки підкладки під покриття, зокрема обробка поверхні сферичними гранулами ударостійкого сополімер стиролу. Взаємодія гранул сополімер стиролу з мідною поверхнею наконечника призводить до утворення довільного мікрорельєфу, зняття окисних плівок, що підвищує адгезію за рахунок нанесеного електроіскрового покриття з утвореною прокладкою.

Дослідженні електроіскрове легування (ЄІЛ) підготовленої поверхні, а також пароплазмове нанесення покриттів, яке застосовувалось після ЄІЛ. На рис. 5 наведений мідний зразок з кластерним термобар'єрним покриттям, що нанесено за розробленою технологією.

Таким чином, розроблено і досліджено комплексний, економічно вигідний, екологічно безпечний технологічний процес пароплазмового нанесення термобар'єрного покриття на зовнішню поверхню наконечників кисневих фурм.

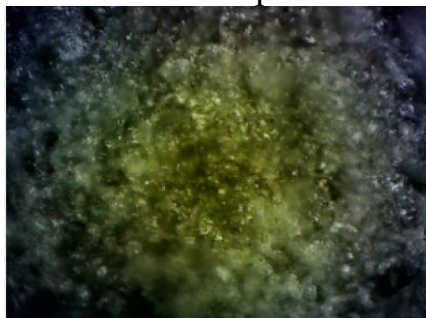


Рис. 5. Мідний зразок з кластерним термобар'єрним покриттям

У третьому розділі «Дослідження охолодження наконечників кисневих фурм, що запропоновані» виконане математичне моделювання руху потоків охолоджувальної води та оцінка швидкості цих потоків в наконечнику та біля тепло відвідної внутрішньої поверхні вінця наконечника.

Аналіз охолодження типових наконечників проведено з використанням 3D програмного комплексу ANSYS CFX COSMOS Flo Works. Моделювання розподілу швидкостей потоків і потоків охолоджувача показало недостатнє охолодження мідного вінця, який приймає основні теплові потоки від ванни, що продувається.

Дослідження охолодження наконечників, що запропоновані проводились численними експериментами за допомогою математичного моделювання при застосуванні програми Solid Works Flow Simulation.

Рух охолоджувальних потоків і поля швидкостей води в запропонованих наконечниках для фурм 160т конвертерів моделювались при тисках води в межах від 0,6МПа до 1,2МПа. При моделюванні між соплові простори задавали з умов розташування 5 сопел, а товщина стінки сопла відповідала товщині стінки на практиці.

Результати математичного моделювання підтвердили, що конструкція типового наконечника і організація охолодження в ньому не забезпечують швидкість потоків у тепловідвідних внутрішніх поверхнях вінця достатніх для ефективного охолодження. В практиці спостерігаються невисокі стійкості наконечників такої конструкції і знос навколо соплових зон (ближніх до центру) на зовнішній поверхні вінця в результаті неефективного охолодження.

Досліджено охолодження наконечника у разі розміщення в ньому направляючої тарілки. Незважаючи на периферійне підведення води, тарілка 1 направляє охолоджувальні потоки 2 в центральну і між соплову частину наконечника (рис. 6).

Охолоджувальні потоки з високою швидкістю поступають до центру вінця наконечника, омивають його внутрішню поверхню і далі між соплами відводяться на периферію і в канал, утворений проміжною і зовнішньою трубами.

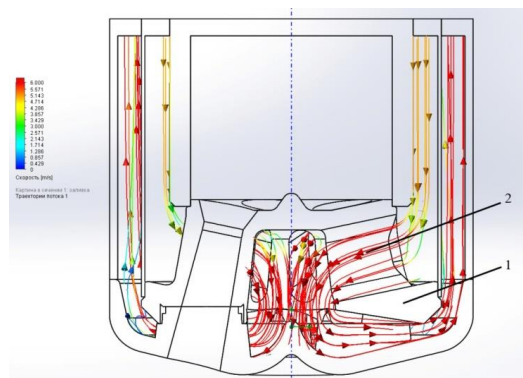


Рис. 6. Рух охолоджувальних потоків в наконечнику з направляючою тарілкою; 1, 2 – охолоджувальні потоки води

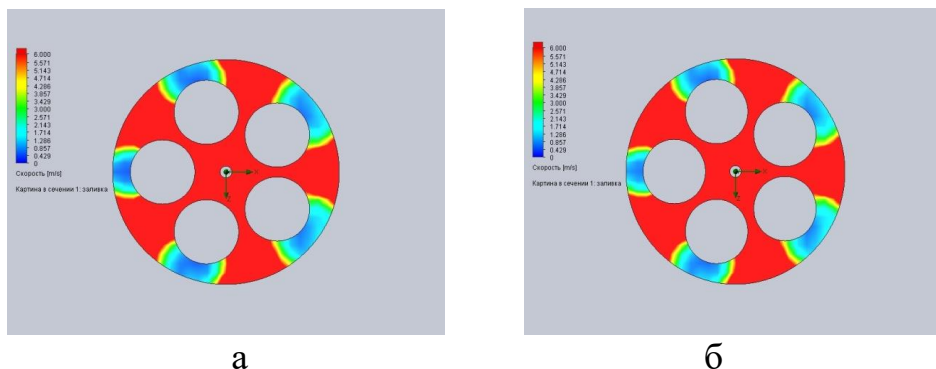


Рис. 7. Поля швидкостей охолоджувальної рідини в наконечнику з розділовою тарілкою при різних тисках води, що підводиться, 1,0 і 1,2 МПа

На рис. 7 приведені поля швидкостей охолоджувальних потоків біля внутрішньої тепло відвідної поверхні вінця наконечника.

Основна площа внутрішньої тепловідвідної поверхні вінця наконечника (на рис. 7 забарвлена в червоний колір), на відміну від типового наконечника, омивається потоками зі швидкостями більше 6м/с, що свідчить про досить ефективне охолодження.

На периферії, після обтікання сопел, потоки охолоджувальної води втрачають швидкість і за соплами утворюються «застійні» зони 1 (забарвлені на рис. 7 в синій колір). Тут, біля поверхні, швидкості потоків складають 1-2м/с і менш, чого не досить для ефективного охолодження. У місцях примикання, «застійних» зон до сопел темніший синій колір свідчить про швидкість течії $< 0,5\text{м/с}$.

При таких швидкостях навіть при щільності теплового потоку $0,4\text{МВт/м}^2$ відбувається перехід від режиму поверхневого кипіння, що супроводжується практично стрибкоподібним підйомом температури внутрішньої поверхні наконечника.

При підвищенні щільності теплового потоку, наприклад до 5МВт/с режим бульбашкового кипіння може перейти в плівковий, різко знижується коефіцієнт тепловіддачі і, як наслідок, ще більше зростає температура наконечника аж до його розплавлення.

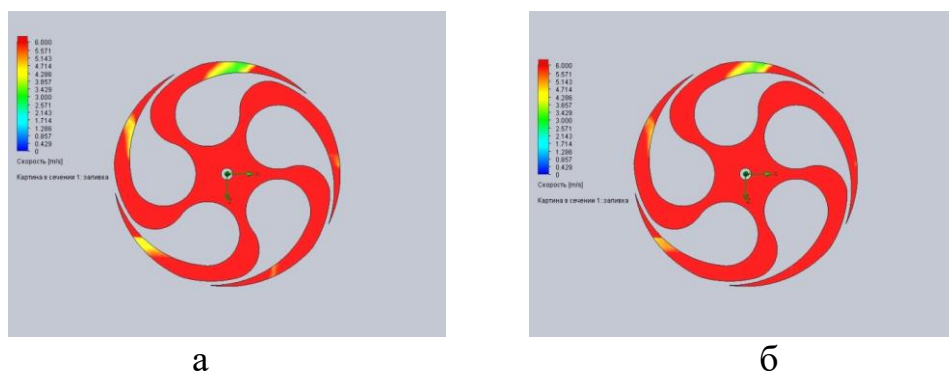


Рис. 8. Поля швидкостей біля внутрішньої поверхні наконечника з турбулізаторами у вигляді спіралі Архімеда (при тиску соди, що підводиться, 1,0 і 1,2 МПа)

Очевидно, саме ці процеси в «застійних» зонах призводять до деякого розпаду навколо соплових зон з боку периферії на зовнішній поверхні вінця наконечника.

Поля швидкостей охолоджуючих потоків біля внутрішньої поверхні вінця наконечника з турбулізаторами у вигляді спіралі Архімеда (рис. 8) переконливо довели, що їх наявність дозволяє розігнати і турбулізувати потоки і досягти в за соплових зонах швидкості води 5-6м/с і більше. Саме це приводить до вимивання «застійних» зон.

Зміна швидкостей потоків охолоджувальної води в точках сканування (рис. 9) біля поверхні вінця в засопловій зоні в наконечнику з турбулізаторами у вигляді спіралі Архімеда наведена на рис. 10.

При застосуванні турбулізаторів потоків в точках сканування 3-7 швидкість потоків перевищує 5-6м/с.

Таким чином, дослідження охолодження наконечників кисневих фурм запропонованих конструкцій довели, що найбільш ефективними з точки зору

покращення охолодження є конструкції з направляючою тарілкою і турбулізаторами охолоджувальних потоків у вигляді спіралі Архімеда.

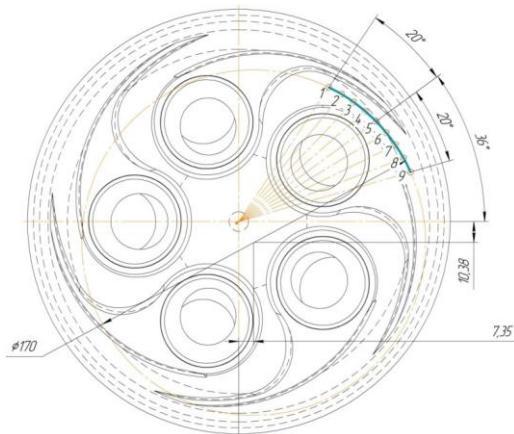


Рис. 9. Сектор і точки сканування швидкостей потоків за соплами в наконечнику з турбулізатором у вигляді спіралі Архімеда

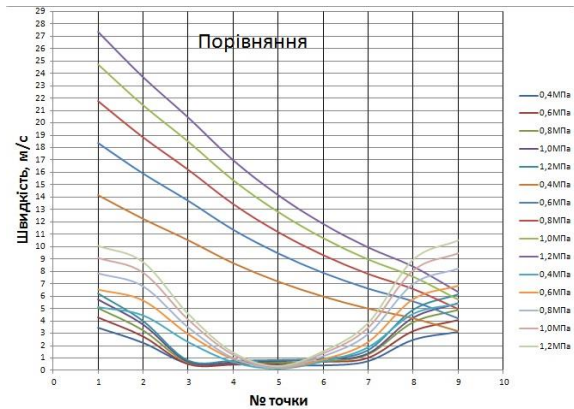


Рис. 10. Порівняння швидкостей потоків охолоджувальної води в точках сканування біля поверхні вінця в наконечниках запропонованих конструкцій (з турбулізаторами 1-5 і тільки з направляючою тарілкою 6-10)

У четвертому розділі «Розробка нових ресурсозберігаючих технологій виготовлення і зборки наконечників кисневих фурм» наведені результати конструювання штампів і запропоновані технології їх виготовлення як мідного вінця так і сталевго блоку направляючою тарілкою. Схеми штампів для об'ємного штампування заготовки мідного вінця наконечника, що розроблені, наведені на рис. 11, заготовки сталевго соплового блоку на рис. 12.

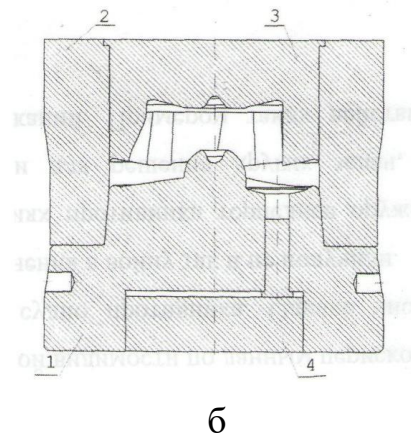
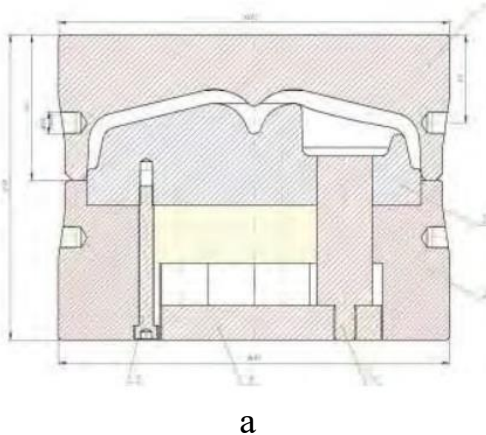


Рис. 14. Схема штампа для: а - об'ємного штампування заготовки мідного вінця фурми; б - об'ємного штампування заготовки сталевго соплового блоку фурми, де 1- матриця; 2 – обойма; 3 – пуансон; 4 – виштовхувач

З використанням програмного продукту MSC Super Forge виконане моделювання технології штамповки, зокрема моделювання пластичності міді при штампуванні вінця приведено на рис. 12, 13.

Досліджені і рекомендовані температурні інтервали паяння, що забезпечують максимальну міцність паяних з'єднань.

За результатами досліджень температура паянь прийнята 850-900⁰С, час витримки при досягненні такої температури 40хв.

Розроблений спосіб і стенд для випробувань наконечників на якість паяних з'єднань і герметичність.

Проведені дослідно-промислові випробування щодо нанесення кластерного термобар'єрного покриття на зовнішній поверхні вінця.

У п'ятому розділі «Випробування і робота наконечників кисневих фурм нових конструкцій та оцінка ефективності плавки при продувці металеві ванни в киснево-конвертерних агрегатах» наведені результати апробації і запровадження запропонованих і виготовлених наконечників на 160т і 60т вітчизняних конвертерах.

На рис. 14 наведено загальний вигляд і в розрізі запропонованого наконечника для кисневої фурми 160т конвертера металургійного комбінату «Арселорміттал Кривий Ріг»

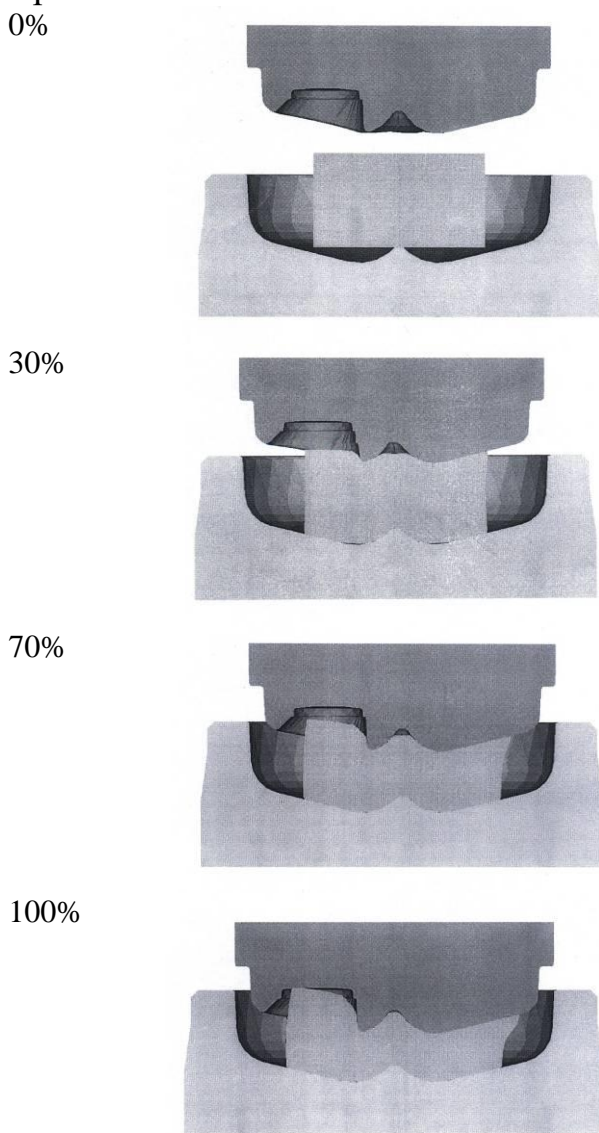


Рис. 12. Моделювання пластичності міді при штампуванні вінця (1-е нагрівання)

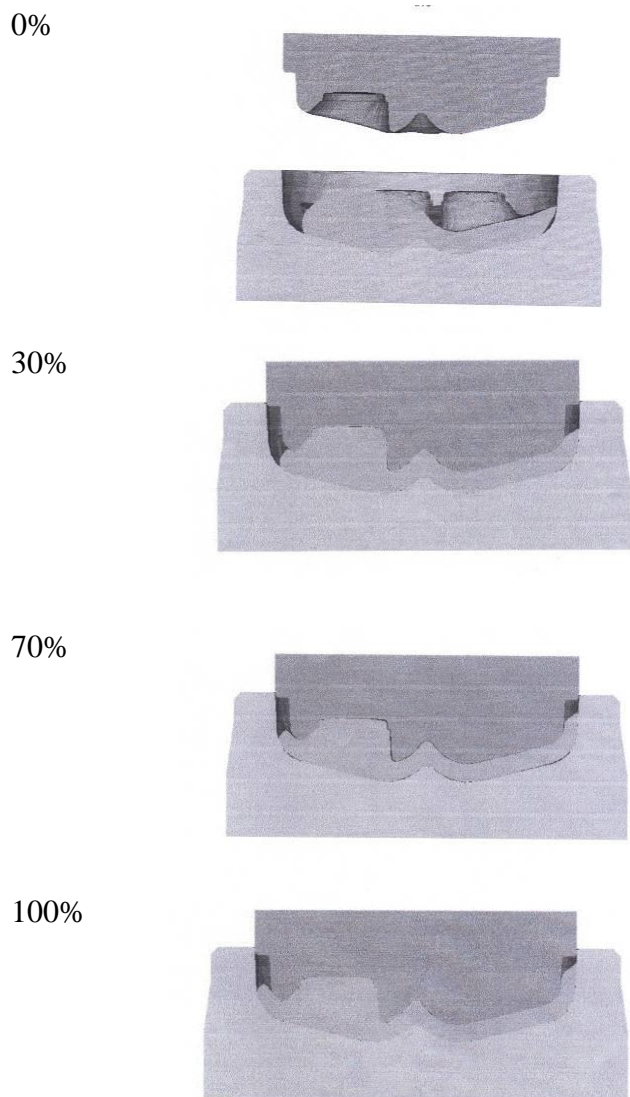


Рис. 13. Моделювання пластичності міді при штампуванні вінця (2-е нагрівання)

Випробування наконечника А (нової конструкції) проводили на 160 т конвертері № 1 металургійного комбінату «Арселор Міттал Кривий Ріг». Результати

порівнювали з роботою конвертера №1 при використанні типового наконечника С. Технологічні показники роботи конвертера № 1 при використанні наконечників А і С приведені в таблиці 1.

"Жорсткіше" продування при застосуванні наконечника А призвело до необхідності ведення плавки з більш високим положенням наконечника над ванною - в середньому, 1,3 - 1,5м. Встановлено, що вихід рідкої сталі при продуванні через наконечник А і при його положенні над ванною ближче до нижньої межі (~ 1,2м) - 89,19%, при положенні наконечника ближче до верхньої межі (~ 1,5м) - 87,95%. На порівняльних плавках і застосуванні типового наконечника 88,38%.

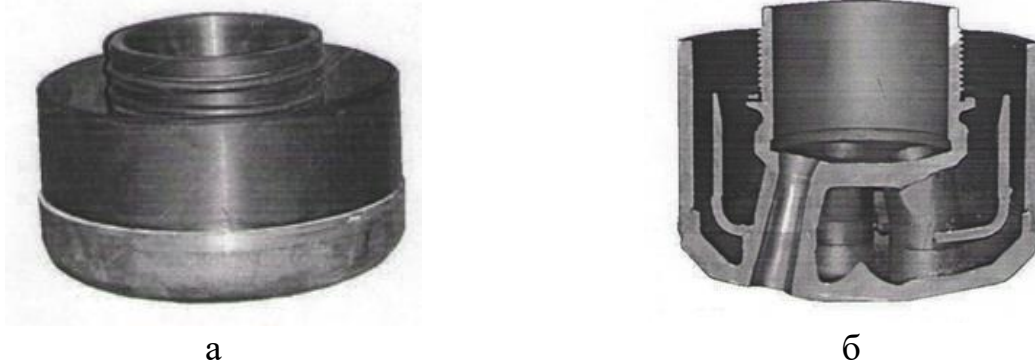


Рис. 14. Наконечник кисневої фурми нової (запропонованої) конструкції: а - загальний вигляд; б - в розрізі

Таблиця 1

Технологічні показники роботи конвертера № 1 при використанні наконечників А (нової конструкції) і С (типових)

№ з/п	Показники	Наконечник А (нової конструкції)	Наконечник С (типовий)
1	2	3	4
1	Витрата чавуну, кг/т сталі	855,2	854,6
2	Витрата лому, кг/т сталі	278,2	276,8
3	Витрата металошихти, кг/т сталі	1133,4	1131,4
4	Витрата вапна, кг/т сталі	63,33	63,90
5	Витрата феросплавів, кг/т сталі	9,24	9,97
6	Вміст вуглецю в металі на останній повалці, %	0,1	0,1
7	Температура металу на останній повалці, град.	1612	1610
8	Тривалість продування, хв.	21,8	22,12
9	Вихід рідкої сталі, %	88,93	88,38

Стабільніше і "жорсткіше" продування в ході експлуатації наконечника А дозволили скоротити тривалість продування до 21.6–21.8 хв. проти 22.12 хв. на порівняльних плавках.

Важливою перевагою застосування наконечників А і В стало підвищення їх стійкості. Порівняно з типовим наконечником їх стійкість збільшилася в 2,2 - 2,8 рази. При цьому в ході експлуатації дослідних наконечників практично був відсутній знос кромки сопла.

Наконечник кисневої фурми для 60 т конвертерів наведений на рис. 15.

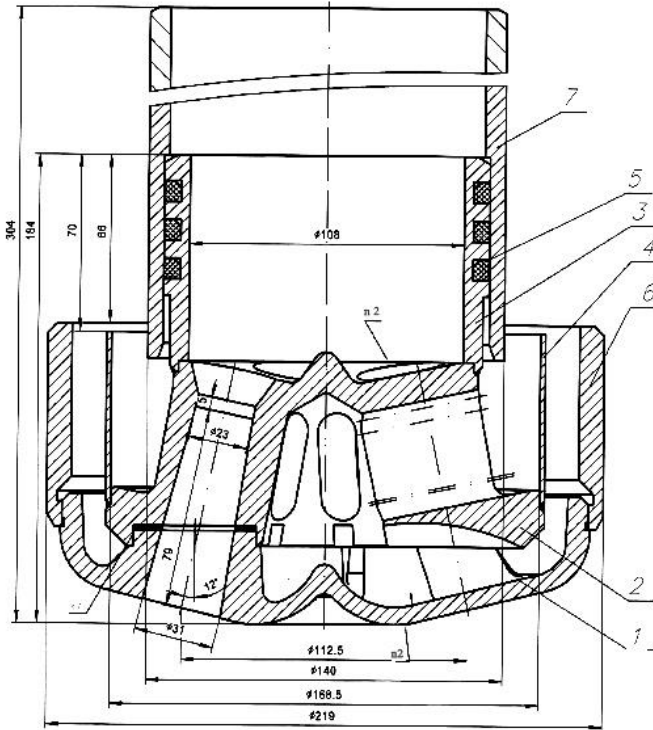


Рис. 15. 5-ти сопловий наконечник кисневої фурми для 60 т конвертера Дніпровського металургійного заводу (1 - вінець наконечника; 2 - сталевий сопловий блок з направляючою тарілкою; 3 - сталевий штуцер; 4 - проміжна труба; 5 - кільця ущільнювачів; 6 - зовнішня труба; 7 - киснева труба)

Основні технологічні і конструктивні параметри нових наконечників приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні технологічні і конструктивні параметри нових наконечників

Число сопел	Кут нахилу до вертикальній осі фурми, град.	Критичний діаметр сопла, мм	Витрата кисню на одне сопло м /хв.
4	16	30	40
5	12	23	32

Штатний литий наконечник, який застосовували для продування до освоєння нових, мав 5 сопел з критичним діаметром кожного 23мм, кут нахилу до вертикальної осі фурми складав 12⁰.

Узагальнені результати плавок, продутих 4-х і 5-ти сопловими наконечниками (табл. 3).

Більш високі температури металу на першій повалці і витрата металобрухту на плавках, продутих 4-х сопловою фурмою, свідчили про позитивніший тепловий баланс, який пояснювався збільшенням міри допалювання монооксиду вуглецю при більш високому положенні фурми над ванною, чим у разі продування 5-ти сопловим наконечником. Відомо, що збільшення положення кисневої фурми над конвертерною ванною створює умови для більшого допалювання СО до СО₂ і підвищує теплові можливості плавки.

Таблиця 3

Основні показники роботи конвертерів при використанні 4-х і 5-ти соплових наконечників фурм нової конструкції

Показники	4-х сопловий наконечник	5-ти сопловий наконечник	Відхилення +,-
Кількість плавок, шт.	2176	3543	+ 367
Витрати матеріалів, кг/т сталі:	983,0	996,2	+13,2
Рідкого чавуну	131,7	123,3	-8,4
і металобрухту			
ЖСБ	11,2	10,3	-0,9
Плавикового шпату	2,09	1,99	-0,1
Металошихти*	1125,9	1129,8	+3,9

Показники роботи конвертерів при використанні 5-ти соплового наконечника нової конструкції порівнювали з роботою типового наконечника (табл. 4).

Час продування на плавках з використанням 5-ти соплового наконечника нової конструкції склав 19,35хв., на порівняльних 20,18. Окиснення шлаку на дослідних плавках 16,46%, на порівняльних 17,94%, витрата металошихти, відповідно, 1129,8кг/т сталі і 1131,8кг/т сталі.

Таблиця 4

Порівняння показників роботи конвертерів при використанні 5-ти соплових наконечників нової конструкції і типових

Показники	5-ти сопловий типовий (порівняно плавки)	5-ти сопловий новою конструкції
Кількість плавок	5278	3543
Витрата чавуну, кг/т сталі	997,4	996,2
Витрата лому, кг/т сталі	124,2	123,3
ЖСБ, кг/т сталі	10,2	10,3
Металошихта, кг/т сталі	1131,8	1129,8
Вміст заліза в шлаку, %	17,94	16,46
Основність шлаку	3,14	3,09
Температура металу на першій повалці, °З	1636	1639
Час продування, хв.	20,18	19,35

Середня стійкість 4-х і 5-ти соплових наконечників складала 520 плавок, що більш ніж в 3 рази перевищувало стійкість штатних литих наконечників.

За участю автора роботи для 60 т конвертера запропонований і сконструйований наконечник кисневої фурми з дворядним розташуванням сопел. Сконструйований наконечник дозволяв подавати кисень на рафінування металу через основні 4 сопла. Кут нахилу основних сопел до вертикалі складав 16°, критичний діаметр 31 мм. Витрата кисню через сопло 40м³/хв. Допоміжні сопла

розташовували по зовнішньому контуру. Сопла циліндричні, діаметр сопла 8 мм, їх кількість 8, а кут нахилу сопел до вертикалі складав 30° .

Результати дослідних плавок показали, що завдяки допалюванню CO до CO_2 , покращується теплова робота конвертера, витрата чавуну на плавку склала 914,67 кг/т сталі, що на 7,1 кг/т стала менше, ніж на порівняльних плавках. Відмічено скорочення тривалості продування. Інші показники конвертерної плавки залишилися без змін.

В специфічних умовах роботи кисневих конвертерів заводу «Chengde Steel» (КНР) випробувані 6-ти соплові наконечники з центральним підводом води. Для кращого шлакоутворення в наконечнику 3 сопла розміщені під кутом 15° до вертикалі, а 3 сопла під кутом 12° , що було новим технічним рішенням.

Покращені умови охолодження наконечника фурми дозволили істотно збільшити його стійкість, в середньому, до 677 плавок проти 392 плавок на 5-ти соплівій фурмі з центральним підводом кисню.

Досягнуті кращі результати по видаленню фосфора, значно зменшилося налипання шлаку на фурму, швидше «запалювалася» плавка, витрати кисню були зменшені на $0,87\text{ м}^3/\text{т}$.

ВИСНОВКИ

1. Вдосконалення конструкцій наконечників кисневих фурм, в т.ч. системи охолодження є актуальним завданням і затребуване практикою виробництва сталі в конвертерах. Розроблена нова конструкція наконечника киснево-конвертерної фурми, що складається з штампованого мідного вінця та сталевого блоку з направляючою тарілкою. Вперше в конструкції наконечника запропоновані турбулізатори охолоджувача і роздільники потоків у вигляді спіралей Архімеда.

2. Запропоновані і обґрунтовані паро плазмове нанесення покриття на зовнішню поверхню мідного вінця і технології підготовки поверхні.

3. Виконано математичне моделювання руху потоків охолоджуючої води в наконечнику фурми та біля тепловідводної внутрішньої поверхні вінця. Встановлено, що напрямна тарілка дозволяє радикально змінити напрями потоків охолоджувальної рідини, а за рахунок турбулізаторів охолоджувача у вигляді спіралей Архімеда омивання в за соплівих зонах ліквідує «застійні» ділянки.

4. Доведено, що ефективно охолодження досягнуто завдяки конструкції наконечника з напрямною тарілкою та вінцем з турбулізаторами у вигляді спіралі Архімеда. Розроблена нова технологія виготовлення мідного вінця і сталевого соплового блоку, що включала розробку штампів збірної конструкції, моделювання процесів штамповки, власно штамповку заготовок та струменево-абразивну обробку внутрішньої поверхні мідного вінця.

5. Вперше в Україні застосований метод паяння для з'єднання внапуск поверхонь мідного вінця з поверхнями сталевих соплового блоку і зовнішньої труби. Дослідженнями встановлені температури паяння ($858-900^\circ\text{C}$) і час витримки наконечника в печі (40 хвилин). Вивчені макро- і мікро-структура швів біметалічного з'єднання конструкційної сталі та міді, доведена рівномірність структури і фазового складу шва та максимальна міцність паяних з'єднань.

6. Розроблені і запроваджені спосіб і стенд для випробувань наконечників на герметичність і щільність паяних швів. Наконечники нової конструкції пройшли

промислову апробацію в киснево-конвертерних цехах України. Важливою перевагою розроблених та виготовлених наконечників стало підвищення їх стійкості в 2-3 рази. При цьому в ході експлуатації нових наконечників відсутній знос кромок сопла.

7. На плавках в 160т конвертерах в порівнянні з експлуатацією типових наконечників зменшилися витрати метало шихти, окисленість кінцевого шлаку. Для 60т конвертерів Дніпропетровського металургійного заводу сформований парк 4-х та 5-ти соплових наконечників нової конструкції, їх середня стійкість склала 520 плавок, максимальна 1082 плавки.

8. Час продування на плавках з використанням 5-ти соплового наконечника нової конструкції дорівнював 19,35хв., на порівняльних 20,18хв., вміст загального заліза в шлаці 16,46% проти 17,94% на порівняльних, витрати метало шихти 1129,8кг/т проти 1131,8кг/т сталі на порівняльних плавках (60т конвертер). Наконечник кисневої фурми з дворядним розташуванням сопел, що був сконструйований і виготовлений для 60т конвертера довів високу ефективність в роботі. Витрати чавуну на плавку зменшені на 7кг/т і склали 914,67кг/т сталі.

9. На металургійному заводі в м. Ченгде (КНР) експлуатація 6-ти соплового наконечника оригінальної конструкції з центральною подачею охолоджуючої води довела високу ефективність її роботи. Стійкість наконечника склала, в середньому 677 плавок, проти 392, що досягнута типовим п'яти сопловим наконечником, отримані кращі показники дефосфорації металу, вміст загального заліза в кінцевому шлаку зменшені на 1,36%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових періодичних виданнях, що включено до міжнародних науко метричних баз:

1. Liu T. Technological features of applying cluster thermal barrier coatings on copper surfaces of the converter lance tips /Velychko O.G., Liu T., Abramov S.O., Marchuk I.V., Gryshin V.S.// *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, m. Dnipro, 2020, No. 3, pp. 53-58. (Scopus).

2. Лю Тяньи. Моделирование процесса штамповки венца и корпуса наконечников кислородных фурм /Лю Тяньи, Величко А.Г., Гришин В.С., Мельничук А.В.// «Системні технології» Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Дніпро: НМетАУ, 2017. Випуск №5(112) С. 146-152. (Copernicus).

3. Лю Тяньи. Эффективная технология при использовании новой кислородно-конвертерной фурмы /Лю Джичанг, Лю Тяньи, Величко А.Г.// «Системні технології» Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Дніпро: НМетАУ, 2017. Випуск №3(110) С. 40-44. (Copernicus).

Статті у наукових фахових виданнях:

4. Лю Тяньи. Модульный принцип подготовки производства наконечников кислородных фурм /А.Г. Величко, В.С. Гришин, Лю Тяньи, В.А. Грядунов, В.Н. Попов// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2006. № 7 . С. 230-242.

5. Лю Тяньи. Опыт эксплуатации наконечников фурм с различным количеством сопел в условиях ККЦ ОАО ДМЗ им. Петровского /В.С. Гришин, В.Л. Грядунов, Лю Тяньи, В.И. Пицида// *Металл и литье Украины*, 2006. № 5. С. 34-35.

6. Лю Тяньи. Конструкции наконечников фурм ККУ ОАО «ДМЗ им. Петровского» на основе модульных технологий /В.С. Гришин, Лю Тяньи, В.А. Грядунов// *Металл и литье Украины*. 2007. № 5 С. 23-25.

7. Лю Тяньи. Компенсаторы кислородных фурм/А.Г.Величко, В.С.Гришин, Т. Лю, В.Г. рядунов//*Металл и литье Украины*. 2008. №5 С. 22-23.

8. Лю Тяньи. Продувочные процессы в сталеплавильных технологиях. Плавка /В.Б. Охотский, А.Г. Величко, Лю Тяньи, Л.С. Молчанов// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016, №5. С. 12-17.

9. Лю Тяньи. Enhancing the efficiency of water cooling of oxygen blowing lance tip /О.Г. Величко, Лю Тяньи, С.О. Абрамов, В.С. Гришин// *Теорія і практика металургії*. Дніпро, 2018. №1-2. С. 7-13.

10. Лю Тяньи. Повышение долговечности наконечников кислородных фурм /А.В. Шибко, А.Г. Величко, Лю Тяньи, В.А. Грядунов// *Металл и литье Украины*. 2008. № 5 С. 35-42.

Матеріали наукових конференцій:

11. Лю Тяньи. Исследование и организация охлаждения в наконечниках кислородно-конверторных фурм /А.Г. Величко, Лю Тяньи, Д.А. Прохоренко, А.З. Цыколия, С.А. Абрамов, В.С. Гришин// XII International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» , Jun 4-7 2016, Varna, Bulgaria Proceedings Vol. 2. P. 61-63.

12. Лю Тяньи. Моделирование гидродинамических процессов при охлаждении наконечника кислородной фурмы /Лю Тяньи// XI International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» , Jun 4-7 2015, Varna, Bulgaria Proceedings Vol. 1. P. 57-62.

13. Лю Тяньи. Повышение технологической эффективности продувки при изменении конструкции фурмы /Лю Джи Чанг, Лю Тяньи, А.Г. Величко// *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні»* 28-30 березня Дніпро, НМетАУ. 2017. С. 138.

Патенти:

14. Патент на корисну модель №19464 України, МПК (2006) С 21С 5/48. Компенсатор фурми /О.Г. Величко, В.С. Гришин, О.П. Морозенко, Лю Тяньи, В.А. Грядунов, В.М. Попов// Заявник і патентовласник Дніпропетровськ ТОВ НВП «Укрфурмет». № у 200607103; заявл. 26.06.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

15. Патент на корисну модель №20095 України, МПК (2006)С21 5/48. Багатосопловий наконечник конвертерної фурми. /О.Г. Величко, В.С. Гришин, О.П. Морозенко, Лю Тяньи, В.А. Грядунов, В.М. Попов// Заявник і патентовласник Дніпропетровськ ТОВ НВП «Укрфурмет». № у 2006 07103; заявл. 6.06.2006; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.

16. Патент на корисну модель №113238 України, МПК С 21С 5/48 (2006.01). Фурмена головка з турбулізаторами охолоджувача /О.Г Величко., Лю Тяньи, Д.А. Прохоренко, А.З Ціколія., С.О. Абрамов, О.П. Морозенко, В.С. Гришин// Заявник і патентовласник Дніпропетровськ НМетАУ № у 201605824; заявл. 30.05.2016; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.

17. Патент на корисну модель №127163 України, МПК С 21С 5/48 (2006.01). Фурмена головка з елементами пасивного посилення турбулентності охолоджувача /О.Г Величко., Лю Тяньи, Д.А. Прохоренко, А.З Ціколія., С.О. Абрамов, О.П.

Морозенко, В.С. Гришин// Заявник і патентовласник Дніпропетровськ НМетАУ № u 201712608; заявл. 18.12.2017; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14.

Додаткові публікації:

18. Лю Тяньи. Продувочные процессы в сталеплавильных технологиях. Шихтовка /В.Б. Охотский, А.Г. Величко, Лю Тяньи, Л.С. Молчанов// Металлургическая и горнорудная промышленность. 2016, №5. С. 27-30.

19. Лю Тяньи. Управление инженерными данными и жизненным циклом конечников кислородных фурм /А.Г. Величко, В.С. Гришин, С.В.Богданчикова, Лю Тяньи// Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. №7. С. 242-247.

20. Лю Тяньи. Использование патентной информации для прогнозирования развития конструкции конечников фурм / В.С. Гришин, Т. Лю, С.В. Богданчикова, А.В. Кулаков// Металл и литье Украины. 2007. №5. С.26-27.

АНОТАЦІЯ

Лю Тяньи. Дослідження і розробка киснево-конвертерних фурм раціональної конструкції та підвищення ефективності конвертерної плавки при їх експлуатації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 «Металургія чорних та кольорових металів і спеціальних сплавів» - Національна металургійна академія України, Міністерство освіти і науки України, м. Дніпро 2020.

Дисертація присвячена дослідженню впливу конструкції наконечника киснево-конвертерної фурми на дуттьові параметри конвертерної плавки і технологічні показники процесу, вивченню гідродинаміки охолодження наконечника фурми, розробці наконечника киснево-конвертерної фурми раціональної конструкції та новим рішенням щодо її виготовлення. Розрахунково-аналітичними та дослідно-промисловими дослідженнями отримані результати щодо організації охолодження наконечників киснево-конвертерних фурм в залежності від їх конструкції. Розроблені нові конструкції наконечників на основі вінця і соплового блоку з направляючою тарілкою та з турбулізаторами у вигляді спіралі Архімеда на внутрішній поверхні вінця і компенсаторами температурних навантажень. Розроблені та експериментально обґрунтовані нові методи та технології виготовлення наконечників киснево-конвертерних фурм. Суттєво, на 30-40% зменшені витрати на виробництво наконечників, а їх якість підвищена. Виготовлені наконечники раціональної конструкції використані для продувки в 60т і 160т конвертерах заводів України і на заводі «Chengde Steel» (КНР). Експлуатація показала середню стійкість наконечників 450-600 плавок при відсутності розжару сопел на зовнішній поверхні вінця. Покращені технологічні показники плавки.

Ключові слова: наконечник киснево-конвертерних фурм, конструкція і виготовлення наконечника, охолодження і стійкість наконечника, продувка киснем, технологічні показники, конвертерна плавка.

ABSTRACT

Liu Tianyi. Research and development of oxygen-converter lances of rational design and increasing the efficiency of converter smelting during their operation. - Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.16.02 "Metallurgy of ferrous and non-ferrous metals and special alloys" - National Metallurgical Academy of Ukraine, Ministry of Education and Science of Ukraine. Dnipro 2020.

The thesis is devoted to research of influence of oxygen-converter lance tip design on blast parameters of converter melting and technological indicators of process, study of hydrodynamics of lance tip cooling, development of rational design of oxygen-converter lance tip and new methods for its manufacturing. With the help of computational-analytical and experimental-industrial studies, results have been obtained on the organization of cooling of oxygen-converter tuyeres tips, depending on their design. New designs of tips based on a crown and a nozzle block with a guide plate and turbulators in the form of an Archimedes spiral on the inner surface of the crown and compensators for temperature loads have been developed. New methods and technologies for the manufacture of oxygen-converter tuyeres tips have been developed and experimentally substantiated. It is significant that the production costs of tips has been reduced by 30-40%, and their quality has been increased. Manufactured tips of rational design were used for blowing in 60 t and 160 t converters of Ukrainian factories and at the Chengde Steel plant (China). Operation has shown an average stability of the tips of 450-600 heats in the absence of nozzles erosion on the outer surface of a crown. Technological indicators of melting have been improved.

Key words: oxygen-converter lance tip, design and manufacture of the tip, cooling and tip stability, oxygen blowing, technological parameters, converter melting.

Підписано до друку 15.10.2020. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний
Умовн. друк. акр. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9. Зам. № 721
Наклад 100 прим.

Надруковано «Поліграфцентр» ФО-П Кочугурний Ю.М.,
свідоцтво про державну реєстрацію №2 224 000 0000 073863,
м. Дніпро, вул.Воскресеньська, 11, 49000