

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Лю Тяньї
**«Дослідження і розробка киснево-конвертерних фурм раціональної
конструкції та підвищення ефективності конвертерної плавки
при їх експлуатації»**,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та
спеціальних сплавів»

**Актуальність теми дисертації та відповідність спеціальності 05.16.02
– «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».**

Сучасний етап розвитку технології конвертерного виробництва якісного залізовуглецевого напівпродукту пов'язаний із широким застосуванням конструкцій багатосоплових кисневих фурм, які обладнані наконечниками із круговим розташуванням сопел Лаваля, які формують кисневі струмені.

В кисневих конвертерах взаємодія високошвидкісного струменя кисню з розплавленою ванною визначає гідродинаміку, тепло- і масообмінні процеси та шлакоутворення, тому саме вдосконалення дугтьових режимів є одним з високоефективних ресурсозберігаючих напрямків, що дозволяє досить швидко й без значних фінансових витрат істотно поліпшити техніко-економічні показники виробництва конвертерної сталі.

На теперішній час ведуться постійні пошуки конструкцій фурм, які задовольняють вимогам технології щодо поліпшення теплового балансу конвертерної плавки, прискорення ходу шлакоутворення, видалення фосфору при підвищеному вмісті вуглецю в металі, запобігання інтенсивному заметалюванню стовбура фурми і горловини агрегату, підвищення виходу залізовуглецевого напівпродукту та підвищенню стійкості самих фурм.

Як свідчить практика, стабільний результат роботи кисневих фурм залежить не тільки від їх конструкції, а й від технології та способу виготовлення і зборки наконечника.

Дисертаційна робота Лю Тяньї спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі з розробки киснево–конвертерних фурм для організації стабільного дуттьового режиму продувки при використанні наконечників фурми нових конструкцій, технології їх виготовлення і зборки, встановленню гідродинамічних закономірностей охолодження наконечників киснево-конвертерних фурм, підвищення стійкості наконечників для поліпшення ефективності киснево-конверторної плавки.

На основі результатів математичного моделювання, дослідно-промислових кампаній плавок розроблено, вдосконалено і запропоновано до промислового використання нові конструкції фурм, які забезпечують підвищення технологічних і техніко-економічних показників плавок.

Виходячи з вищевикладеного, матеріали досліджень, викладені в дисертаційній роботі Лю Тяньї є актуальними для металургійних підприємств України та світу й у повній мірі відповідають паспорту спеціальності 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Ступінь обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертаційної роботи ґрунтується на використанні результатів аналізу достатньої кількості літературних джерел та експериментальних даних з використання та технології виготовлення кисневих фурм, а також даних власних теоретичних та експериментальних досліджень методами математичного моделювання, фізичного моделювання процесів штамповки та металографічними дослідженнями властивостей пайки і мікро-структури швів біметалічного з'єднання конструкційної сталі та міді при виготовленні наконечника фурми.

У роботі використані сучасні теоретичні та експериментальні методи досліджень. Під час експериментальних досліджень застосоване як стандартне обладнання, так і спеціально створені пристрої. Розроблені та впроваджені спосіб і стенд для випробувань наконечників на герметичність і щільність паяних швів. За розробленим комплексним технологічним процесом виконано

пароплазменне нанесення кластерного термобар'єрного покриття на зовнішній поверхні вінця наконечника кисневої фурми.

Наукові підходи, трактування основних положень і висновків дисертаційного дослідження при розробці конструкцій кисневих фурм і технологій їх виготовлення, ступінь апробації та рівень публікацій основних результатів роботи дозволяють зробити висновок про достатній ступінь обґрунтованості наукових положень, запропонованих висновків і рекомендацій.

Загальна характеристика змісту дисертації.

Дисертаційна робота складається з титульної сторінки, анотації, змісту, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 100 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 153 сторінки тексту, в тому числі 87 рисунків і 15 таблиць. За структурою дисертація та автореферат є логічними, підпорядкованими меті роботи та її завданням.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету і задачі дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведені відомості щодо апробації та публікації основних результатів роботи.

У **першому розділі** 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.

Проведений автором аналіз публікацій показав, що, вдосконалення конструкцій наконечників кисневих фурм, у тому числі, системи охолодження є актуальним завданням і затребуване практикою конвертерного переділу.

Стойкість вживаних наконечників недостатньо висока, а розпал навколосоплових ділянок призводить до нестабільного продування конвертерної ванни.

У **другому розділі** на основі виконаного аналізу сучасних конструкцій кисневих фурм та особливостей їх використання автором роботи запропонована та розроблена конструкція наконечника кисневої фурми, що складається з двох основних деталей: штампованого мідного вінця та сталевого блоку із направляючою тарілкою.

Автором була вдосконалена конструкція телескопічного компенсатора, яка передбачає гумові ущільнювачі та центрувально-направляючі елементи з визначеними триботехнічними характеристиками.

Конструювання наконечників кисневих фурм запропоновано на основі модульних технологій з урахуванням оптимального формоутворення заготовки.

Автор пропонує конструкцію наконечника фурми з турбулізаторами охолоджувача на внутрішній поверхні вінця наконечника за сопловою зоною у вигляді дугоподібної направляючої лопатки, контур якої є відрізками двох спіралей Архімеда.

Відповідно до сучасних вимог, що дозволяє збільшити життєвий цикл наконечників кисневих фурм, автором запропоновані пароплазмове нанесення покриття на зовнішню поверхню мідного вінця наконечника і технології підготовки поверхні та власно покриття, включаючи електроіскрове легування.

У **третьому розділі** автором виконано математичне моделювання руху потоків охолоджувальної води та оцінка швидкості цих потоків в наконечнику та біля тепловідвідної внутрішньої поверхні вінця наконечника. Результати математичного моделювання показали, що конструкція типового наконечника і організація охолодження в ньому, не забезпечують швидкості потоків у тепловідвідних внутрішніх поверхнях вінця достатніх для ефективного охолодження.

Доведено, що напрямна тарілка в наконечнику дозволяє радикально змінити напрями потоків охолоджувальної рідини, організувати поліпшене охолодження поверхні кисневої фурми. Разом з тим, після обтікання сопел, потоки охолоджувальної води втрачають швидкість і за соплами утворюються «застійні» зони.

Запропоновані автором кутові розсікачі дозволяють інтенсифікувати охолодження в області «застійних» зон і зменшити розмір останніх, але не призводять до їх ліквідації.

За матеріалами дослідження доведено, що при організації охолоджуючих потоків за рахунок спіралі Архімеда в наконечнику з напрямною тарілкою «застійні» зони за соплами відсутні. Доведено, що оптимальною конструкцією наконечника фурми з точки зору ефективного охолодження тепло відвідного вінця є конструкція з напрямною тарілкою і вінцем з турбулізаторами в вигляді спіралі Архімеда.

Четвертий розділ присвячений результатам розробки технології виготовлення мідного вінця і сталевого блоку з направляючою тарілкою, що включала розробку штампів збірної конструкції, моделювання процесів штамповки, в т.ч. температурного режиму, штамповку заготовок та струменево-абразивну обробку внутрішньої поверхні мідного вінця. Розроблені і впроваджені спосіб і стенд для випробувань наконечників на герметичність і щільність паяних швів за допомогою якого досліджені і рекомендовані температурні інтервали паяння, що забезпечують максимальну міцність паяних з'єднань.

Вивчена макро- і мікро-структура швів біметалічного з'єднання конструкційної сталі та міді. Експериментально підтверджена рівномірність структури і фазового складу шва та максимальна міцність паяних з'єднань.

За розробленим комплексним технологічним процесом виконано пароплазменне нанесення кластерного термобар'єрного покриття на зовнішній поверхні вінця наконечника кисневої фурми.

У п'ятому розділі представлені результати досліджень на промислових конвертерах ємністю 60 т і 160-т з використання кисневих фурм нових конструкцій та оцінка ефективності плавки при продувці металевої ванни.

Наконечники нової конструкції були випробувані в умовах 4-х киснево-конвертерних цехів.

В киснево-конвертерному цеху металургійного комбінату ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» відпрацювали два типи 5-ти соплових наконечників з різними кутами нахилу. Важливою перевагою розроблених нових наконечників стало підвищення їх стійкості. Порівняно з типовим стійкість зазначених конструкцій наконечників збільшилась в 2,2-2,8 рази. При цьому в ході експлуатації нових наконечників практично відсутній знос кромки сопла.

В умовах роботи 160т конвертерів Єнакіївського металургійного заводу застосовувано 5-ти сопловий наконечник, що розроблений за участю автора. Середня стійкість нових наконечників склала 226 плавки проти 110 плавки у типових наконечників.

Для 60 т конвертерів Дніпровського металургійного заводу сформований парк 4-х соплових та 5-ти соплових наконечників з кутом нахилу, відповідно 16 град і 12 град. Середня стійкість 4-х і 5-ти соплових наконечників складала 520 плавки, що в 3 рази перевищило стійкість штатних литих наконечників. Максимальна стійкість склала 1082 плавки.

В дисертаційній роботі автором приведено, що при використанні нових конструкцій наконечників отримане (в залежності від конструкції і ємності агрегату) загальне зниження металошихти на тонну сталі, скорочення тривалості продувки, зменшення окисленості кінцевого шлаку та питомої витрати кисню. Показано приріст виходу рідкої сталі.

Додатково був випробуваний наконечник кисневої фурми з дворядним розташуванням сопел, що сконструйований для 60 т конвертора, який на дослідних плавках довів зниження витрати чавуну на плавку.

Також в розділі автором приведені результати експлуатації 6-ти соплового наконечника оригінальної конструкції з центральною подачею охолоджуючої води при продуванні ванадійвмісного чавуну на металургійному заводі Chengde Steel (КНР). Стійкість наконечника розробленої конструкції склала, в середньому, 677 плавки проти 392, що досягнута типовим 5-ти сопловим наконечником, отримані кращі показники дефосфорації металу.

Наукова новизна отриманих результатів.

В результаті теоретичного аналізу та експериментальних досліджень отримані нові відомості про вдосконалення конструкцій наконечників кисневих фурм, в т.ч. системи охолодження. Отримані результати і рекомендації характеризуються новизною.

До найбільш суттєвих, з наукової точки зору, результатів дисертації Лю Тяньї можна віднести наступне:

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 розпал сопел на зовнішній поверхні вінця і організує витікання кисневих струменів в розрахунковому режимі протягом всього часу 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 розшарування, 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 матеріалоємність і енергоємність виготовлення, підвищена надійність експлуатації.

3. Розроблені на основі теоретичних і практичних досліджень наконечники киснево-конвертерних фурм нових конструкцій використані для продувки киснем металеві ванни в 60 т і 160 т конвертерах заводів України. Експлуатація наконечників показала відсутність розпалу сопел на зовнішній поверхні вінця, що забезпечувало стабілізацію дуттьового і шлакового режимів на всьому періоді експлуатації наконечників. Стійкість наконечників складала 450-600 плавок, 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 160 т конвертерах вихід рідкої сталі збільшився на 0,6%, що в першу чергу, пов'язано зі зменшенням вмісту оксидів заліза в шлаку. Суттєво зменшена чисельність плавок з «передувом» 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 металошихти, тривалість продувки.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях.

Основні положення і результати роботи були розглянуті на 3-х міжнародних науково-технічних конференціях. Матеріали дисертації опубліковано у 18 роботах, в тому числі: 8 статей в спеціалізованих наукових виданнях, затверджених на момент 5 публікації ДАК МОН України, 1 стаття в журналі, індексованому в міжнародній наукометричній базі Scopus; 2 статті в журналі, індексованому в міжнародній наукометричній базі Copernicus; отримано 4 патенти України.

Автореферат дисертації містить всю необхідну інформацію для оцінки дисертації, включає основні наукові положення, висновки і рекомендації, які приведені у дисертації.

Публікації в достатній мірі відображають основні положення дисертації. Кількість та якість публікацій відповідає вимогам, які пред'являють до дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук.

Основні зауваження до дисертації.

1) У розділі 1 слід було б більше приділити увагу саме технологічним показникам конвертерної плавки для обґрунтування вибору конструкцій кисневих фурм.

2) У тексті дисертації має місце невідповідність положень наукової та практичної новизни, які приведені на стор. 12, 13 та 23, 24.

3) У розділах 2 і 3 багато уваги приділяється математичному моделюванню теплових потоків та потоків струменів для вдосконалення наконечників класичної конструкції. Хотілося б розуміти, чи були ці методики застосовані при конструюванні дворядного наконечника, результати випробувань якого приведено у розділі 5.

4) В розділі 4 не представлено вихідних даних математичного моделювання та основних рівнянь для розрахунку процесів теплообміну.

5) З розділу 5 п.5.3.2. не зрозуміло, чи була вдосконалена конструкція основного блоку сопел за запропонованою технологією і як змінилися показники плавки при використанні дворядного наконечника у тому числі показник окисленості кінцевого шлаку.

6) У розділі 4 на стор. 109 вказано, що в результаті технологічного забезпечення зборки паяних з'єднань деталей наконечників була збільшена їх стійкість у 5-7 разів, хоча за даними промислових випробувань приведена цифра збільшення стійкості наконечників у 2 -3 рази (висновки по розділу 5).

7) У розділі 5 на стор. 113,116 наведено інформацію про випробування двох типів наконечників (А та Б), однак у табл. 5.2 приведено результати роботи тільки наконечника типу А в порівнянні з типовим. Також з цієї таблиці не зрозуміла кількість експериментальних плавок для аналізу.

8) У розділі 5 п 5.2. приведені дані про випробування дослідних наконечників кисневих фурм нової конструкції в умовах Єнакіївського металургійного заводу, в той же час в авторефераті ця інформація відсутня.

9) При порівнянні роботи експериментальних конструкцій наконечників доцільно було б до основних показників плавки приводити хімічний аналіз металу та шлаку.

10) У розділі 5 табл. 5.5. та табл. 5.6. напевно повинно було об'єднати, бо не зовсім зрозуміло сприйняття порівняння досліджуваних конструкцій наконечників.

11) Більша частина роботи спрямована на удосконалення параметрів і конструкції наконечників, способів їх виготовлення, однак повинно було б більш зосередитися саме на технології дуттьового режиму конвертерної плавки, фізико – хімічних механізмах процесу і їх показниках.

Наведені зауваження не зменшують теоретичну та практичну цінність дисертаційної роботи, не ставлять під сумнів достовірність матеріалів

Висновки щодо відповідності дисертації вимогам Міністерства освіти та науки України.

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Лю Тяньї
**«Дослідження і розробка киснево-конвертерних фурм раціональної
конструкції та підвищення ефективності конвертерної плавки
при їх експлуатації»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та
спеціальних сплавів»

**Актуальність теми дисертації та відповідність спеціальності 05.16.02 –
«Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».**

Сучасний етап розвитку технології конвертерного виробництва якісного залізовуглецевого напівпродукту пов'язаний із широким застосуванням конструкцій багатосоплових кисневих фурм, які обладнані наконечниками із круговим розташуванням сопел Лаваля, які формують кисневі струмені.

В кисневих конвертерах взаємодія високошвидкісного струменя кисню з розплавленою ванною визначає гідродинаміку, тепло- і масообмінні процеси та шлакоутворення, тому саме вдосконалення дуттьових режимів є одним з високоефективних ресурсозберігаючих напрямків, що дозволяє досить швидко й без значних фінансових витрат істотно поліпшити техніко-економічні показники виробництва конвертерної сталі.

На теперішній час ведуться постійні пошуки конструкцій фурм, які задовольняють вимогам технології щодо поліпшення теплового балансу конвертерної плавки, прискорення ходу шлакоутворення, видалення фосфору при підвищеному вмісті вуглецю в металі, запобігання інтенсивному заметалюванню стовбура фурми і горловини агрегату, підвищення виходу залізовуглецевого напівпродукту та підвищенню стійкості самих фурм.

Як свідчить практика, стабільний результат роботи кисневих фурм залежить не тільки від їх конструкції, а й від технології та способу виготовлення і зборки наконечника.

Дисертаційна робота Лю Тяньї спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі з розробки киснево-конвертерних фурм для організації стабільного дуттьового режиму продувки при використанні наконечників фурми нових конструкцій, технології їх виготовлення і зборки, встановленню гідродинамічних закономірностей охолодження наконечників киснево-конвертерних фурм, підвищення стійкості наконечників для поліпшення ефективності киснево-конверторної плавки.

На основі результатів математичного моделювання, дослідно-промислових кампаній плавок розроблено, вдосконалено і запропоновано до промислового використання нові конструкції фурм, які забезпечують підвищення технологічних і техніко-економічних показників плавок.

Виходячи з вищевикладеного, матеріали досліджень, викладені в дисертаційній роботі Лю Тяньї є актуальними для металургійних підприємств України та світу й у повній мірі відповідають паспорту спеціальності 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Ступінь обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертаційної роботи ґрунтується на використанні результатів аналізу достатньої кількості літературних джерел та експериментальних даних з використання та технології виготовлення кисневих фурм, а також даних власних теоретичних та експериментальних досліджень методами математичного моделювання, фізичного моделювання процесів штамповки та металографічними дослідженнями властивостей пайки і мікро-структури швів біметалічного з'єднання конструкційної сталі та міді при виготовленні наконечника фурми.

У роботі використані сучасні теоретичні та експериментальні методи досліджень. Під час експериментальних досліджень застосоване як стандартне обладнання, так і спеціально створені пристрої. Розроблені та впроваджені спосіб і стенд для випробувань наконечників на герметичність і щільність паяних швів. За розробленим комплексним технологічним процесом виконано

пароплазменне нанесення кластерного термобар'єрного покриття на зовнішній поверхні вінця наконечника кисневої фурми.

Наукові підходи, трактування основних положень і висновків дисертаційного дослідження при розробці конструкцій кисневих фурм і технологій їх виготовлення, ступінь апробації та рівень публікацій основних результатів роботи дозволяють зробити висновок про достатній ступінь обґрунтованості наукових положень, запропонованих висновків і рекомендацій.

Загальна характеристика змісту дисертації.

Дисертаційна робота складається з титульної сторінки, анотації, змісту, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 100 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 153 сторінки тексту, в тому числі 87 рисунків і 15 таблиць. За структурою дисертація та автореферат є логічними, підпорядкованими меті роботи та її завданням.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету і задачі дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведені відомості щодо апробації та публікації основних результатів роботи.

У **першому розділі** 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.

Проведений автором аналіз публікацій показав, що, вдосконалення конструкцій наконечників кисневих фурм, у тому числі, системи охолодження є актуальним завданням і затребуване практикою конвертерного переділу.

Стійкість вживаних наконечників недостатньо висока, а розпал навколосоплових ділянок призводить до нестабільного продування конвертерної ванни.

У **другому розділі** на основі виконаного аналізу сучасних конструкцій кисневих фурм та особливостей їх використання автором роботи запропонована та розроблена конструкція наконечника кисневої фурми, що складається з двох основних деталей: штампованого мідного вінця та сталевого блоку із направляючою тарілкою.

Автором була вдосконалена конструкція телескопічного компенсатора, яка передбачає гумові ущільнювачі та центрувально-направляючі елементи з визначеними триботехнічними характеристиками.

Конструювання наконечників кисневих фурм запропоновано на основі модульних технологій з урахуванням оптимального формоутворення заготовки.

Автор пропонує конструкцію наконечника фурми з турбулізаторами охолоджувача на внутрішній поверхні вінця наконечника за сопловою зоною у вигляді дугоподібної направляючої лопатки, контур якої є відрізками двох спіралей Архімеда.

Відповідно до сучасних вимог, що дозволяє збільшити життєвий цикл наконечників кисневих фурм, автором запропоновані пароплазмове нанесення покриття на зовнішню поверхню мідного вінця наконечника і технології підготовки поверхні та власно покриття, включаючи електроіскрове легування.

У **третьому розділі** автором виконано математичне моделювання руху потоків охолоджувальної води та оцінка швидкості цих потоків в наконечнику та біля тепловідвідної внутрішньої поверхні вінця наконечника. Результати математичного моделювання показали, що конструкція типового наконечника і організація охолодження в ньому, не забезпечують швидкості потоків у тепловідвідних внутрішніх поверхнях вінця достатніх для ефективного охолодження.

Доведено, що напрямна тарілка в наконечнику дозволяє радикально змінити напрями потоків охолоджувальної рідини, організувати поліпшене охолодження поверхні кисневої фурми. Разом з тим, після обтікання сопел, потоки охолоджувальної води втрачають швидкість і за соплами утворюються «застійні» зони.

Запропоновані автором кутові розсікачі дозволяють інтенсифікувати охолодження в області «застійних» зон і зменшити розмір останніх, але не призводять до їх ліквідації.

За матеріалами дослідження доведено, що при організації охолоджуючих потоків за рахунок спіралі Архімеда в наконечнику з напрямною тарілкою «застійні» зони за соплами відсутні. Доведено, що оптимальною конструкцією наконечника фурми з точки зору ефективного охолодження тепло відвідного вінця є конструкція з напрямною тарілкою і вінцем з турбулізаторами в вигляді спіралі Архімеда.

Четвертий розділ присвячений результатам розробки технології виготовлення мідного вінця і сталевого блоку з направляючою тарілкою, що включала розробку штампів збірної конструкції, моделювання процесів штамповки, в т.ч. температурного режиму, штамповку заготовок та струменево-абразивну обробку внутрішньої поверхні мідного вінця. Розроблені і впроваджені спосіб і стенд для випробувань наконечників на герметичність і щільність паяних швів за допомогою якого досліджені і рекомендовані температурні інтервали паяння, що забезпечують максимальну міцність паяних з'єднань.

Вивчена макро- і мікро-структура швів біметалічного з'єднання конструкційної сталі та міді. Експериментально підтверджена рівномірність структури і фазового складу шва та максимальна міцність паяних з'єднань.

За розробленим комплексним технологічним процесом виконано пароплазменне нанесення кластерного термобар'єрного покриття на зовнішній поверхні вінця наконечника кисневої фурми.

У п'ятому розділі представлені результати досліджень на промислових конвертерах ємністю 60 т і 160-т з використання кисневих фурм нових конструкцій та оцінка ефективності плавки при продувці металевої ванни.

Наконечники нової конструкції були випробувані в умовах 4-х киснево-конвертерних цехів.

В киснево-конвертерному цеху металургійного комбінату ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» відпрацювали два типи 5-ти соплових наконечників з різними кутами нахилу. Важливою перевагою розроблених нових наконечників стало підвищення їх стійкості. Порівняно з типовим стійкість зазначених конструкцій наконечників збільшилась в 2,2-2,8 рази. При цьому в ході експлуатації нових наконечників практично відсутній знос кромки сопла.

В умовах роботи 160т конвертерів Єнакіївського металургійного заводу застосовувано 5-ти сопловий наконечник, що розроблений за участю автора. Середня стійкість нових наконечників склала 226 плавки проти 110 плавки у типових наконечників.

Для 60 т конвертерів Дніпровського металургійного заводу сформований парк 4-х соплових та 5-ти соплових наконечників з кутом нахилу, відповідно 16 град і 12 град. Середня стійкість 4-х і 5-ти соплових наконечників складала 520 плавки, що в 3 рази перевищило стійкість штатних литих наконечників. Максимальна стійкість склала 1082 плавки.

В дисертаційній роботі автором приведено, що при використанні нових конструкцій наконечників отримане (в залежності від конструкції і ємності агрегату) загальне зниження металошихти на тонну сталі, скорочення тривалості продувки, зменшення окисленості кінцевого шлаку та питомої витрати кисню. Показано приріст виходу рідкої сталі.

Додатково був випробуваний наконечник кисневої фурми з дворядним розташуванням сопел, що сконструйований для 60 т конвертора, який на дослідних плавках довів зниження витрати чавуну на плавку.

Також в розділі автором приведені результати експлуатації 6-ти соплового наконечника оригінальної конструкції з центральною подачею охолоджуючої води при продуванні ванадійвмісного чавуну на металургійному заводі Chengde Steel (КНР). Стійкість наконечника розробленої конструкції склала, в середньому, 677 плавки проти 392, що досягнута типовим 5-ти сопловим наконечником, отримані кращі показники дефосфорації металу.

Наукова новизна отриманих результатів.

В результаті теоретичного аналізу та експериментальних досліджень отримані нові відомості про вдосконалення конструкцій наконечників кисневих фурм, в т.ч. системи охолодження. Отримані результати і рекомендації характеризуються новизною.

До найбільш суттєвих, з наукової точки зору, результатів дисертації Лю Тяньї можна віднести наступне:

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 розпал сопел на зовнішній поверхні вінця і організує витікання кисневих струменів в розрахунковому режимі протягом всього часу 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 розшарування, 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 матеріалоємність і енергоємність 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 60 т і 160 т конвертерах заводів України. Експлуатація наконечників показала відсутність розпалу сопел на зовнішній поверхні вінця, що забезпечувало стабілізацію дуттьового і шлакового режимів на всьому періоді експлуатації наконечників. Стійкість наконечників складала 450-600 плавок, 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 160 т конвертерах вихід рідкої сталі збільшився на 0,6%, що в першу чергу, пов'язано зі зменшенням вмісту оксидів заліза в шлаку. Суттєво зменшена чисельність плавок з «передувом» 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.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях.

Основні положення і результати роботи були розглянуті на 3-х міжнародних науково-технічних конференціях. Матеріали дисертації опубліковано у 18 роботах, в тому числі: 8 статей в спеціалізованих наукових виданнях, затверджених на момент 5 публікації ДАК МОН України, 1 стаття в журналі, індексованому в міжнародній наукометричній базі Scopus; 2 статті в журналі, індексованому в міжнародній наукометричній базі Copernicus; отримано 4 патенти України.

Автореферат дисертації містить всю необхідну інформацію для оцінки дисертації, включає основні наукові положення, висновки і рекомендації, які приведені у дисертації.

Публікації в достатній мірі відображають основні положення дисертації. Кількість та якість публікацій відповідає вимогам, які пред'являють до дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук.

Основні зауваження до дисертації.

1) У розділі 1 слід було б більше приділити увагу саме технологічним показникам конвертерної плавки для обґрунтування вибору конструкцій кисневих фурм.

2) У тексті дисертації має місце невідповідність положень наукової та практичної новизни, які приведені на стор. 12, 13 та 23, 24.

3) У розділах 2 і 3 багато уваги приділяється математичному моделюванню теплових потоків та потоків струменів для вдосконалення наконечників класичної конструкції. Хотілося б розуміти, чи були ці методики застосовані при конструюванні дворядного наконечника, результати випробувань якого приведено у розділі 5.

4) В розділі 4 не представлено вихідних даних математичного моделювання та основних рівнянь для розрахунку процесів теплообміну.

5) З розділу 5 п.5.3.2. не зрозуміло, чи була вдосконалена конструкція основного блоку сопел за запропонованою технологією і як змінилися показники плавки при використанні дворядного наконечника у тому числі показник окисленості кінцевого шлаку.

6) У розділі 4 на стор. 109 вказано, що в результаті технологічного забезпечення зборки паяних з'єднань деталей наконечників була збільшена їх стійкість у 5-7 разів, хоча за даними промислових випробувань приведена цифра збільшення стійкості наконечників у 2 -3 рази (висновки по розділу 5).

7) У розділі 5 на стор. 113,116 наведено інформацію про випробування двох типів наконечників (А та Б), однак у табл. 5.2 приведено результати роботи тільки наконечника типу А в порівнянні з типовим. Також з цієї таблиці не зрозуміла кількість експериментальних плавок для аналізу.

8) У розділі 5 п 5.2. приведені дані про випробування дослідних наконечників кисневих фурм нової конструкції в умовах Єнакіївського металургійного заводу, в той же час в авторефераті ця інформація відсутня.

9) При порівнянні роботи експериментальних конструкцій наконечників доцільно було б до основних показників плавки приводити хімічний аналіз металу та шлаку.

10) У розділі 5 табл. 5.5. та табл. 5.6. напевно повинно було об'єднати, бо не зовсім зрозуміло сприйняття порівняння досліджуваних конструкцій наконечників.

11) Більша частина роботи спрямована на удосконалення параметрів і конструкції наконечників, способів їх виготовлення, однак повинно було б більш зосередитися саме на технології дугтьового режиму конвертерної плавки, фізико – хімічних механізмах процесу і їх показниках.

Наведені зауваження не зменшують теоретичну та практичну цінність дисертаційної роботи, не ставлять під сумнів достовірність матеріалів

Висновки щодо відповідності дисертації вимогам Міністерства освіти та науки України.

Основні наукові положення, які приведені у дисертаційній роботі, висновки і рекомендації є обґрунтованими, оскільки базуються на теоретичному аналізі та результатах виконаних лабораторних експериментів та досліджень в промислових умовах.

Дисертаційна робота Лю Тяньї є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані рішення, а також нові практичні результати щодо організації стабільного дуттьового режиму продувки при використанні наконечників киснево-конвертерної фурми нових конструкцій, технології їх виготовлення і зборки, встановленню гідродинамічних закономірностей охолодження наконечників киснево-конвертерних фурм, підвищення стійкості наконечників та поліпшення показників киснево-конвертерної плавки.

Вважаю, що рецензована дисертаційна робота за своєю вагомістю, новизною наукових результатів, їх практичним значенням, кількістю та обсягом публікацій відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 р. № 656 щодо кандидатських дисертацій, а автор дисертаційної роботи – Лю Тяньї заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Офіційний опонент:

старший науковий співробітник відділу
фізико-технічних проблем металургії сталі
Інституту чорної металургії
ім. З.І. Некрасова НАН України,
кандидат технічних наук

С.О. Дудченко

Підпис С.О. Дудченка засвідчую:

Начальник відділу кадрів
Інституту чорної металургії
ім. З.І. Некрасова НАН України



Л.І. Ружина