

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Лю Тяньї
«Дослідження і розробка киснево-конвертерних фурм
раціональної конструкції та підвищення ефективності
конвертерної плавки при їх експлуатації»,
що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів
та спеціальних сплавів»

1. Актуальність роботи

Дисертаційну роботу Лю Тяньї присвячено розвитку наукових уявлень щодо гідродинамічних та теплообмінних закономірностей охолодження наконечників кисневих фурм, дослідженню впливу параметрів дуттьового режиму конвертерної плавки на показники процесу та розробці раціональної конструкції і технології виготовлення наконечників з удосконаленою гідродинамікою течії охолоджувача. Наукове та експериментальне обґрунтування технічних рішень, сприяючих підвищенню ефективності охолодження наконечників кисневих фурм, ліквідації засоплових застійних зон є актуальним завданням.

В цілому, дисертаційна робота Лю Тяньї є актуальною і своєчасною, оскільки спрямована на вдосконалення системи охолодження та удосконалення конструкції наконечників кисневих фурм і способів їх виготовлення, організацію раціонального та стабільного дуттьового режиму конвертерної плавки, оптимізацію технологічних операцій, зменшення витрат на виробництво.

Зміст роботи відповідає планам науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України та кафедр металургії чавуну і сталі і кафедри технології машинобудування Національної металургійної академії України. В основу дисертації покладені результати наукових досліджень, що увійшли до звітів з науково-дослідних робіт: «Розробка наукових основ виплавки та розливки сталей з підвищеним рівнем властивостей на підставі новітніх енерго- та ресурсозберігаючих процесів» (№ДР 0112U000643).

Вирішені в роботі науково-технічні завдання відповідають пріоритетам розвитку фундаментальних досліджень в галузі теорії і технології доменного виробництва, а також положенням «Державної програми розвитку та реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2020 року».

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації обґрунтовані та відповідають об'єктивній дійсності. Вони базуються на результатах досліджень і розробок вітчизняних та зарубіжних фахівців, базових положеннях теорії киснево-конвертерного процесу виробництва сталі. Для вирішення поставлених завдань в роботі використані сучасні методи досліджень, у тому числі математичне моделювання; металографічні дослідження, статистичний аналіз результатів промислових експериментів.

Теоретичні дослідження ґрунтуються на фундаментальних положеннях теорії гідродинамічних та теплообмінних процесів і не протирічать загальноприйнятим уявленням. Розроблені наукові положення і технічні рішення перевірені і знайшли підтвердження в умовах реального виробництва у конвертерних цехах ряду металургійних підприємств України та заводу «Chengde Steel» (КНР).

Достовірність результатів дослідження підтверджується збіжністю теоретичних передумов і отриманих експериментальних даних.

3. Наукова новизна отриманих результатів

До найбільш суттєвих наукових результатів, отриманих здобувачем наукового ступеня, можна віднести наступні:

1. Вперше отримані відомості щодо впливу перенаправлення потоків охолоджувача у удосконаленому наконечнику фурми з периферії на центральну частину і турбулізації потоків на швидкість останніх та ефективність охолодження.

2. Вперше науково обґрунтована і експериментально підтверджена доцільність турбулізації потоків охолоджувача в застійних зонах наконечника кисневої фурми з визначенням режимів подачі охолоджувача, компенсації температурних навантажень та попередженням розжару сопел Лаваля.

3. Вперше науково обґрунтований підхід до застосування модульного принципу виготовлення наконечників кисневих фурм.

4. З застосуванням методів металографічних досліджень на основі аналізу структури швів пайки на границях між різними металами доведена можливість використання пайки при утворенні нероз'ємних з'єднань деталей наконечника кисневої фурми.

5. Встановлені особливості застосування електроіскрового легування поверхні вінця наконечника, впливу підготовки поверхні та пароплазмового нанесення покриття.

4. Практичне значення отриманих результатів

До результатів, отриманих здобувачем наукового ступеня, що мають практичне значення, можна віднести наступні:

1. Спроектовані нові конструкції наконечників кисневих фурм для 60-т та 160-т конвертерів виготовлені та успішно використовуються у промисловій практиці для продувки конвертерної ванни в Україні та на заводі «Chengde Steel» (КНР). Запропонована автором дисертації технологія збірки наконечників сприяла зменшенню на 30-40 % витрат на їх виробництво, зниженню матеріало- та енергоємності їх виготовлення, підвищенню надійності експлуатації.

2. За результатами промислової експлуатації спроектованих наконечників фурм доведена можливість суттєвого зменшення або взагалі ліквідації розпалу сопел Лавалю на зовнішній поверхні вінця. Ефективне охолодження досягається за рахунок використання конструкції наконечника з напрямною тарілкою та вінцем з турбулізаторами у вигляді спіралі Архімеда. За рахунок відсутності розпалу забезпечується стабілізація дуттьового і шлакового режимів ведення конвертерної плавки, що сприятиме зменшенню питомих витрат на виробництво сталі. За результатами експлуатації на 60-т конвертерах Дніпровського металургійного заводу стійкість 4-х та 5-ти соплових наконечників сягала 450-600 плавок (при максимальній у 1082 плавки), що у 2-3 рази перевищує стійкість штатних, що використовувалися у конвертерному цеху до прийняття в експлуатацію наконечників нової конструкції.

3. За рахунок організації раціонального дуттьового режиму забезпечено зменшення окисненості шлаку, що сприяло підвищенню виходу рідкого металу у 160-т конвертерах на 0,6%. Суттєво зменшена кількість плавок, що «передуті» на вміст вуглецю <0,05%.

4. За результатами промислового використання розроблених конструкцій 6-ти соплових наконечників з центральним підводом води на заводі «Chengde Steel» (КНР) підтверджено поліпшення умов охолодження наконечника, що сприяло підвищенню стійкості у 1,72 рази у порівнянні зі штатним. Крім того, забезпечено зниження вмісту фосфору у металі наприкінці продувки, зменшення окисненості шлаку на 1,36%, тривалості продувки й періоду продувки до «запалювання» плавки та ступеня зашлаковування фурми.

5. Загальна характеристика роботи

Дисертація складається з титульної сторінки, анотації, змісту, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 100 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 153 сторінки

тексту, в тому числі 87 рисунків і 15 таблиць.

Структура роботи відповідає загальноприйнятому підходу до побудови дисертаційних робіт. Матеріали проведених досліджень та теоретичного обґрунтування викладені з дотриманням логіки і в достатньому ступеню аргументовані. Загальне оформлення роботи в цілому відповідає вимогам, які висувають до дисертаційних робіт.

У першому розділі автором дисертації, з використанням літературних та промислових даних, виконаний критичний аналіз переваг та недоліків сучасних конструкцій наконечників кисневих фурм для конвертерів, особливостей їх експлуатації. Акцентовано увагу на проблеми стійкості наконечників фурм, їх виготовлення та надійності експлуатації. Визначені напрямки удосконалення конструкцій наконечників, обґрунтовані напрямки, визначені мета та задачі досліджень.

У другому розділі представлені результати досліджень та розробки нових технічних рішень конструкцій наконечників кисневих фурм і технологій їх виготовлення.

Розроблена інноваційна конструкція наконечника кисневої фурми, що складається з двох основних деталей – штампованого мідного вінця та сталевого блоку із направляючою тарілкою. Вдосконалена конструкція телескопічного компенсатора для кисневих фурм, яка передбачає гумові ущільнювачі та центрувально-направляючі елементи з визначеними трибо технічними характеристиками. Запропоновано конструювання наконечників кисневих фурм на основі модульних технологій з урахуванням оптимального формоутворення заготовки. Запропоновано варіант об'ємного штампування вінця – штампування мідної тарілки з прутка з наступною механічною обробкою базових поверхонь і приєднання сопел за допомогою пайки.

Важливою перевагою розробленого автором дисертації вінця наконечника, крім перерахованих технологічних операцій, є відсутність зварних швів на зовнішній поверхні вінця. За оцінками автора завдяки такому підходу спроектований вінець наконечника має на 28% модулів поверхонь менше ніж базовий і відповідно на 21,1% менше точно оброблюваних поверхонь.

Автором дисертації також запропонована конструкція 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. На підставі виконаного аналізу запропоновані технічні рішення, що дозволяють зменшити або навіть виключити утворення застійних зон.

Вперше на сопловому блоці наконечника фурми передбачені додаткові

розподільники потоків. Контури розподільників створені двома спіралями Архімеда, початок яких знаходиться в центрі продувних сопел соплового блоку, а закінчується на зовнішньому колі блоку.

У роботі справедливо відмічено, що ефективним способом підвищення якості покриття є міцність його зчеплення з основним матеріалом, який значною мірою залежить від підготовки підкладки. Автором дисертації виконаний аналіз та показано, що для підвищення захисних корозійних властивостей покриттів, зовнішніх мідних поверхонь наконечників кисневих фурм необхідним є застосовування технології отримання суцільних покриттів. Відповідно до сучасних вимог перспективним способом, що дозволяє збільшити життєвий цикл наконечників кисневих фурм, автором вперше запропоновані пароплазмове нанесення покриття на зовнішню поверхню мідного вінця наконечника і технології підготовки поверхні та власно покриття, включаючи електроіскрове легування.

У третьому розділі представлені результати математичного моделювання гідродинаміки потоків охолоджуючої води в наконечнику кисневої фурми та біля тепловідвідної внутрішньої поверхні вінця наконечника.

За результатами математичного моделювання показано, що конструкція типового наконечника і організація охолодження в ньому не забезпечують швидкості потоків у тепловідвідних внутрішніх поверхнях вінця достатніх для ефективного охолодження. Акцентовано увагу на тому, що на практиці спостерігаються недостатня стійкість наконечників такої конструкції і присутній знос навколосоплових зон (ближніх до центру) на зовнішній поверхні вінця в результаті неефективного охолодження.

Досліджено охолодження наконечника фурми з направляючою тарілкою та показано, що швидкості потоків в центральній частині наконечника досить високі і істотно перевищують 6 м/сек, що, за ствердженнями автора, свідчить про досить ефективне охолодження.

Досліджені поля швидкостей потоків охолоджувальної води в перерізі наконечника з направляючою тарілкою. Показано, що на периферії, після обтікання сопел, потоки охолоджувальної води втрачають швидкість і за соплами утворюються «застійні» зони. Визначено, що біля поверхні швидкості потоків складають 1-2 м/сек і менше, чого не достатньо для ефективного охолодження. У місцях примикання «застійних» зон до сопел швидкість течії менш ніж 0,5 м/сек. При таких швидкостях відбувається перехід від режиму однофазної конвекції охолоджувальної води до режиму поверхневого кипіння, що супроводжується стрибкоподібним підйомом температури внутрішньої поверхні наконечника. Справедливо відмічено, що при підвищенні щільності теплового потоку, наприклад до 5 МВт/м² режим бульбашкового кипіння може

перейти у плівковий, різко знижується коефіцієнт тепловіддачі і, як наслідок, ще більше зростає температура наконечника аж до його розплавлення. Автор дисертації висловлює припущення, що саме ці процеси в «застійних» зонах призводять до деякого розпалу навколосоплових зон з боку периферії на зовнішній поверхні вінця наконечника.

З метою раціональної організації руху і зменшення зони за соплами з невисокими швидкостями охолоджувальної води автором запропонована установка між соплами на внутрішній поверхні вінця кутових розсікачів потоків. Потік води між соплами ділиться кутовим розсікачем на два у співвідношенні 50:50 і спрямовується розсікачем за сопла.

Встановлено, що у наконечнику з направляючою тарілкою і турбулізаторами у вигляді спіралі Архімеда на внутрішній поверхні вінця «застійні» зони відсутні. Доведено, що напрямна тарілка в наконечнику дозволяє радикально змінити напрями потоків охолоджувальної рідини, організувати поліпшене охолодження поверхні кисневої фурми. Разом з тим відмічається, що після обтікання сопел, потоки охолоджувальної води втрачають швидкість і за соплами утворюються «застійні» зони, в яких, біля поверхні, швидкості потоків складають 1-2 м/сек і менше. В той же час, відмічається, що запропоновані кутові розсікачі дозволяють інтенсифікувати охолодження в області «застійних» зон і зменшити розмір останніх, але не призводять до їх ліквідації.

За результатами експериментів також показано, що поля швидкостей охолоджувальної води біля тепловідвідної поверхні вінця наконечника фурми з центральним підведенням води принципово відрізняються від сформованих при периферійному підведенні охолоджувальної води, у тому числі, у наконечнику з направляючою тарілкою. У разі центрального підведення води «застійні» зони біля внутрішньої поверхні вінця наконечника відсутні. Оптимальною конструкцією наконечника фурми, з точки зору ефективного охолодження тепловідвідного вінця із швидкостями омивання в засоплових зонах більше 5-6 м/сек, визнана конструкція з прямою тарілкою і вінцем з турбулізаторами в вигляді спіралі Архімеда.

За результатами математичного моделювання автором підтверджені переваги організації центральної подачі води у наконечник фурми. При цьому навіть при тиску води, що підводиться у 0,6 МПа швидкості потоків в міжсоплових зонах більше 3 м/сек, а при тиску 1,0 МПа - 4 м/сек. і більше. Автор відмічає, що вірогідність розпалу навколосоплових зон на зовнішній поверхні вінця наконечника кисневої фурми з центральним охолодженням мінімальна.

У четвертому розділі наведені результати розробки, моделювання

технологічного процесу і виготовлення заготовок (вінця і сталевого соплового блоку) наконечника фурми. Автором акцентовано увагу, що при виготовленні мідних наконечників (із застосуванням нових методів лиття) не забезпечуються герметичність і теплопровідність матеріалу, якість робочих поверхонь через раковини та неметалеві включення.

За даними автора розроблені конструкції суцільноточених наконечників фурм показали їх досить високу технологічну ефективність при виплавці сталі. Однак саме їх виготовлення з цільної заготовки з прокату є нетехнологічним, тому що значна частина дорогої міді йде у стружку, а під час експлуатації відбувається характерний розпал торцевої поверхні наконечника в зоні зосередження проточок соплового блоку, які відводять воду. Останнє викликано нерівномірністю умов охолодження внаслідок спрямованого однорівневого руху води.

Технологію штамповки заготовки мідного вінця в розробленому штампі у представленій роботі моделювали із використанням програмного продукту MSC Super Forge. З метою відстеження поверхні оброблюваної деталі в ході моделювання застосовували концепцію фасеточної (багатогранної) поверхні (facet surfact).

За результатами виконаної статистичної обробки даних руйнувань нероз'ємних з'єднань конструкцій фурмених наконечників утворення тріщин у шві, що з'єднує мідний вінець зі сталевим патрубком зовнішньої труби, призводить до 11,2 % виходу з ладу фурм, у тому числі 0,1% з подальшим відривом наконечника від тіла фурм. У конструкціях наконечників, розроблених автором, у якості методу з'єднання запропоноване паяння. З метою правильного вибору робочої температури паяння і швидкості нагріву були проведені дослідження, де експериментально визначали температури нагріву різних зон наконечника. За результатами макро- і мікроструктурного аналізів швів біметалічного з'єднання були виявлені особливості структури границь з'єднань сталь-латунь та латунь-мідь. За результатами макро- і мікроструктурного аналізу зроблено висновок, що розроблена технологія отримання біметалічних з'єднань конструкційної сталі (Ст 10) і міді (М 1) дозволяє отримати міцне зчеплення з латунним припоєм (Л 63) за рахунок однорідних перехідних зон, рівномірної структури і фазового складу шва. Доведена рівномірність структури і фазового складу шва та максимальна міцність паяних з'єднань. Встановлені раціональні температура паяння і час витримки наконечника у печі. Розроблені і запроваджені спосіб і стенд для випробувань наконечників на герметичність і щільність паяних швів.

В результаті технологічного забезпечення зборки паяних з'єднань деталей наконечників кисневих фурм була збільшена стійкість наконечників в 5-7 разів

в порівнянні з існуючою стійкістю на металургійних заводах України.

У п'ятому розділі представлені результати випробування і робота наконечників кисневих фурм нових конструкцій та оцінка ефективності плавки при продувці ванни в киснево-конвертерних агрегатах. Наконечники запропонованої автором конструкції були випробувані в умовах киснево-конвертерних цехів, у тому числі металургійного комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг», Єнакієвського та Дніпровського металургійного заводу, а також на металургійному заводі Chengde Steel (КНР).

Дослідні наконечники для 60-т конвертерів Дніпровського металургійного заводу виготовляли штампованими з направляючою тарілкою. За пропозиціями автора дисертації було сформовано парк 4-х соплових та 5-ти соплових наконечників з кутом нахилу сопел Лаваля, відповідно 16 град і 12 град. Під час промислового використання дослідних наконечників середня стійкість 4-х і 5-ти соплових наконечників складала 520 плавок, що в 3 рази перевищило стійкість штатних литих наконечників. Максимальна стійкість складала 1082 плавки.

В умовах киснево-конвертерного цеху металургійного заводу Chengde Steel (КНР) експлуатація 6-ти соплового наконечника (з соплами різного діаметра) із 3-ма соплами, що були розміщені під кутом 15° до вертикалі, та 3-и - під кутом 12° з центральною подачею охолоджуючої води для переробки ванадійвміщуючого чавуну дуплекс-процесом досягнуто підвищення ступеня дефосфорації металу при зменшенні вмісту загального заліза в кінцевому шлаку на 1,36%. Стійкість дослідного наконечника складала, в середньому, 677 плавок проти 392, для типового 5-ти соплового наконечника.

6. Повнота відображення у опублікованих роботах основних наукових та практичних результатів дисертації

Основні результати дисертації достатньо повно представлені автором у 18 публікаціях, у тому числі: у 8 статтях в спеціалізованих наукових виданнях, затверджених на момент публікації Державною атестаційною комісією МОН України, у 1 статті у журналі, індексованому в міжнародній наукометричній базі Scopus, у 2 статтях в журналі, індексованому в наукометричній базі Scopus, у 3 публікаціях в матеріалах міжнародних наукових конференцій та 4 патентах України. Ступінь апробації результатів дисертаційної роботи можна вважати достатнім.

Опубліковані наукові роботи, в цілому, відповідають темі дисертації, розкривають основні положення і в достатній мірі представляють отримані автором результати. Кількість і склад публікацій відповідає вимогам Державної атестаційної комісії МОН України, що пред'являються до дисертаційних робіт.

7. Основні зауваження по дисертаційній роботі

1. Враховуючи значне число перемінних факторів (конструктивних та режимних параметрів), що впливають на гідродинаміку охолоджувача у наконечнику фурми, потребує додаткових пояснень які критерії оптимізації для удосконалення системи охолодження були обрані автором дисертації?

2. Аналіз охолодження типових наконечників кисневих фурм у роботі було проведено з використанням 3D програмного комплексу ANSYS CFX, COSMOS Flo Works. Які граничні умови для області моделювання (зовнішні впливи температур, теплових потоків, сил тощо) та висхідні параметри моделювання, чи проведена перевірка адекватності відтворення моделлю явищ, що відбуваються у робочому просторі наконечника, визначення похибки й точності результатів, що зазвичай оцінюються ступенем збігу значень характеристик реального об'єкта і значень цих характеристик, отриманих за допомогою математичних моделей.

3. Чи задіяні були методики фізичного моделювання гідродинаміки охолоджувача у наконечниках запропонованих конструкцій та на підставі яких даних вибрані емпіричні коефіцієнти (12,8 і 12,79) у виразах 2.1 і 2.2 (розділ 2, стор. 64)? Чим автор може пояснити відмінність швидкостей, отриманих за результатами моделювання у різних секторах на одному перетині наконечника, де є ділянки швидкість води на яких від 3-х до 4,5 м/с (розділ 2, рис. 2.15, стор. 65)?

4. Автором підкреслено (розділ 2, стор. 76), що був розроблений і досліджений комплексний, економічно вигідний, екологічно безпечний технологічний процес пароплазмового нанесення термобар'єрного покриття на наконечники конвертерних фурм. В той же час не наведені характеристики покриття (отримана товщина тощо) та раціональні режими нанесення покриття, результати випробувань наконечників з вказаним покриттям, техніко-економічні показники. Відсутні також відомості щодо розрахунку внутрішніх напружень у покритті та матеріалі вінця (стор. 69) та остаточних напружень при електроіскровому легуванні (стор. 75).

5. Автор стверджує, що при організації обтікання сопел охолоджувальною водою за допомогою турбулізаторів у вигляді спіралі Архімеда «застійні» зони відсутні (рис. 3.12, 3.15, стор. 90), але згідно з даними, наведеними на рисунку 3.12, за соплами існують ділянки на яких швидкість води не досягає 5-6 м/с. Яким чином була оцінена зміна гідравлічного опору та ступінь гідродинамічної нестійкості охолоджувача у наконечнику після його модернізації?

6. Як відомо максимальну ефективність гідродинамічної роботи системи

охолодження маю кисневі фурми з центральним підводом води. На стор. 97 автором підкреслено, що при центральному підводі охолоджувача у наконечник фурми розпал навколо соплових зон відсутній. Який у такому разі сенс ускладнення конструкції наконечника за рахунок встановлення турбулізаторів у формі спіралі Архімеда тощо?

7. На жаль у розділі 5 не наведені висхідний хімічний склад чавуну металошихти, характеристики типового (штатного) наконечника для 160-т конвертерів ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг» та технологічні параметри ведення плавки, що ускладнює порівняння та аналіз отриманих показників. За рахунок чого досягнуто зменшення тривалості продування при дещо підвищених питомих витратах чавуну у металошихті на дослідних плавках, підвищення температури металу на повалці при більш «жорсткому» продуванні ванни? (табл. 5.2, стор. 117). Наскільки вплинула підвищена ступінь допалювання монооксиду вуглецю при збільшенні кута нахилу сопел Лаваля на тепловий баланс плавки? Це ж зауваження стосується і дослідного наконечника для 160-т конвертерів Єнакієвського металургійного заводу.

8. На дослідних плавках в ході експлуатації нового наконечника завдяки жорсткішому продуванню відмічено (рис. 5.8) стабільніше попадання в заданий вміст вуглецю на першій повалці (у діапазоні 0,08-0,12%). За рахунок чого досягнуто збільшення «жорсткості» дуття на дослідних плавках при незмінному куті нахилу сопел Лаваля? Який, за оцінками автора, ступінь впливу удосконалення системи охолодження наконечника на окисненість кінцевого шлаку при відміченому на дослідних плавках зменшенні питомих витрат кисню на продування, підвищенні витрат вугілля на плавку тощо.

9. За якою методикою виконували розрахунки та які раціональні розрахункові параметри сопел Лаваля для запропонованих конструкцій наконечників 160-т конвертерів АМКР та ЄМЗ у зв'язку із використаними різними критичними діаметрами сопел Лаваля (рис. 5.4 та 5.7). Як зміна критичного діаметру сопел та інших розмірів вплинула на режим ведення плавки у конвертерах з однаковою садкою?

10. Якість виконання окремих графіків та діаграм бажано було б покращити (рис. 1.9, 2.12, 2.13, 4.8, 5.4, 5.15), крім того у тексті дисертації та у окремих таблицях допущені орфографічні помилки та неточності у відображенні результатів (до прикладу рис. 5.8). На рис. 5.15 відсутні позначки 1, 2 тощо, а у описі до рисунку вони присутні тощо.

Вказані зауваження не знижують у цілому наукової та практичної цінності.

8. Висновок про відповідність дисертації вимогам п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567

Представлена дисертація Лю Тяньї є закінченою науковою працею, в якій отримані нові наукові та експериментально обґрунтовані результати, за допомогою яких вирішені проблеми вдосконалення системи охолодження та удосконалення конструкції наконечників кисневих фурм і способів їх виготовлення, організації раціонального та стабільного дуттьового режиму конвертерної плавки, оптимізації технологічних операцій та зменшення витрат на виробництво.


Наукова новизна та практичні результати, які винесені на захист, відповідають темі та меті дисертаційної роботи, а сама дисертація виконана на достатньо високому науково-технічному рівні. Текст дисертації викладений з використанням сучасної науково-технічної термінології.

Результати досліджень в достатній мірі проілюстровані та доповнені таблицями. Загальні висновки відповідають результатам досліджень. Основні і найбільш важливі положення дисертаційної роботи у повній мірі представлені в публікаціях автора.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, є закінченою кваліфікаційною науковою роботою, а її автор, Лю Тяньї, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри металургії
чорних металів ім. професора В.І. Логінова
Дніпровського державного технічного університету,
доктор техн. наук, професор  Є.М. Сігарьов

Підпис Є.М. Сігарьова засвідчую:
Начальник відділу кадрів ДДТУ  І.І. Лесова

