

Відгук

офіційного опонента на роботу Недбайло Миколи Миколайовича
**«Розвиток теорії та розробка ресурсозберігаючої технології нанесення
шлакового гарнісажу на футерівку конвертера»**

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

Актуальність теми дисертаційної роботи та її відповідність спеціальності 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

В сучасних умовах розвитку світової металургії киснево-конвертерний процес лишається основним способом виробництва сталей різного сортаменту. При цьому собівартість рідкої сталі, що виплавляється, та продуктивність всього процесу виробництва визначається тривалістю безаварійного використання вогнетривкої футерівки. Таким чином актуальним завданням сучасної металургійної науки є розробка методів з оперативного ремонту вогнетривкої футерівки кисневих конверторів з метою терміну їх експлуатації. В контексті зазначеного тематика дисертаційної роботи Недбайло М.М. є актуальною для потреб сучасного металургійного виробництва. Враховуючи, що основним напрямком дослідження автора є теоретичне обґрунтування та промислове здійснення новітньої високоефективної технології нанесення шлакового гарнісажу на футерівку кисневого конвертера, от викладені у дисертаційній роботі матеріали проведених досліджень у повній мірі відповідають 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 базується на використанні значної бази джерел науково-технічної

інформації, узагальнення результатів теоретичних досліджень, математичного та фізичного низько- і високотемпературного моделювання процесів нанесення шлакового гарнісажу на вогнетривку футерівку кисневих конвертерів.

При виконанні досліджень використовувалися сучасні теоретичні та експериментальні методи дослідження, які базувалися на фундаментальних положеннях фізичної хімії, теорії металургійних процесів й тепло- та масообміну. Для комплексної та достовірної оцінки результатів експериментів застосовували методики рентгеноспектрального та кількісного хімічного аналізу, фото- та відеофіксацію перебігу процесів.

Наукові підходи, трактування основних положень і висновків дисертаційного дослідження при розробці високоефективної технології нанесення шлакового гарнісажу на футерівку кисневих конверторів, ступінь апробації рівень публікацій основних наукових результатів дисертаційного дослідження дозволяють зробити висновок про достатній ступінь обґрунтованості наукових результатів та зроблених на їх підставі висновків і рекомендацій.

Загальна характеристика змісту дисертаційної роботи.

Дисертація складається з титульного аркуша, анотації, змісту, основної частини з п'яти розділів та висновків, списку використаних джерел і додатків. Текст дисертації викладено на 172 сторінках основного тексту, зокрема 16 таблиць і 65 рисунків та 4 додатки на 9 сторінках. Перелік посилань на 11 сторінках містить 121 літературне джерело. Загальний обсяг складає 192 стор. За своїм структурним складом дисертаційна робота та автореферат є логічними, підпорядкованими меті й завданням проведеного дослідження.

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, вказані мета і завдання дослідження, сформульована наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення, відзначено особистий внесок автора, викладені результати апробації розробок, наведена структура і обсяг роботи.

У **першому розділі** наведені дані щодо сучасного стану технологій гарячого ремонту периклазовуглецевої футерівки конвертера. Проведений критичний аналіз переваг та недоліків сучасних способів торкретування, підварювання та роздування підготовленого кінцевого конвертерного шлаку на футерівку з метою формування захисного шлакового гарнісажу. Теоретично обґрунтовано, що техніко-економічні та енергетичні переваги має роздування азотними струменями з використанням спеціалізованих гарнісажних фурм.

Сформовані основні завдання дослідження: розробка установок та методик проведення експериментів для вивчення газогідродинамічних особливостей комбінованого роздування шлакової ванни; обґрунтування нових способів коригування поточного фізико-хімічного стану шлаку для підвищення його адгезійної здатності до вогнетривів; розробка методики розрахунку параметрів роздування шлаку із застосуванням багатоярусної фурми для формування гарнісажного шару заданої товщини у визначених зонах на футерівці.

У **другому розділі** представлені методики та устаткування для низькотемпературного моделювання гідрогазодинаміки роздування рідкої ванни у конвертері із комбінованою продувкою ванни та високотемпературного моделювання взаємодії шлаку з вогнетривом.

Для низькотемпературного фізичного моделювання гідрогазодинаміки роздування шлаку використана модель 250-т промислового конвертера ПАТ «ДМК» у масштабі 1:18 з дотриманням критеріїв подібності $Fr=idem$, $Re=idem$, $Eu=idem$ та $Ho=idem$. У якості середовищ, що моделюють шлакову ванну та газоподібний азот, використовували відповідно розчин клейстера з перемінною в'язкістю та компресорне повітря. Для визначення закономірностей роздування рідкої ванни, з застосуванням багатоярусної фурми, використані модельні наконечники з 4...6 соплами Лаваля та верхній сопловий блок з 4-ма циліндричними соплами.

Для умов використання двоярусної фурми додатково введений критерій відносного імпульсу потоків дуття та симплекси, що враховують сумарний імпульс струменів другого ярусу і геометричні параметри фурми – відстань між ярусам сопел та діаметр вихідного перетину сопел верхнього соплового блоку.

Для діапазону витрат азоту на роздувку шлаку крізь сопла Лаваля 6-ти соплового наконечника промислової фурми (600...700 м³/хв.) модельні значення склали: $0,63 \cdot 10^{-3} \dots 0,81 \cdot 10^{-3}$ м³/с та $0,12 \cdot 10^{-3} \dots 0,16 \cdot 10^{-3}$ м³/с крізь сопла верхнього блоку відповідно. Витрата газу крізь 6-ть донних вставок, розташованих у моделі за колом складала $0,067 \cdot 10^{-3} \dots 0,10 \cdot 10^{-3}$ м³/с на одну вставку (сопло).

На другому етапі експериментів, з метою визначення впливу глибини шлакової ванни, висоти розташування наконечника фурми над ванною та відстані між наконечником та верхнім блоком сопел на «зашлакованість» стовбура фурми, товщину шару та ширину зони шлакового гарнісажу на стінах конвертера застосовано методику планування експерименту.

Високотемпературні дослідження закономірностей розтікання шлаку та характеру поверхневих явищ у системі «шлаковий розплав - вогнетрив» проводили з використанням комплексу на основі печі Таммана, оптичного пірометра ЕОП-66 та контрольно-вимірювальних приладів. Використані основні положення методики визначення поверхневого натягу методом «лежачої краплі». У якості параметру оптимізації прийняли величину крайового кута змочування θ , у якості факторів впливу: добавка СаО, % (від маси шлаку); добавка MgO, %; розмір внесених до складу шлаку тугоплавких часток, мм. Піч закривали з однієї сторони прозорим кварцовим склом та створювали нейтральну (азотну) атмосферу. Процес розтікання краплі шлаку по поверхні підложки фіксували цифровою камерою CASIO FX-25. Дослідження мікроструктури зон контакту шлакової краплі та вогнетриву проводили з застосуванням мікроскопу МИМ-8М та електронного растрового мікроскопу РЕМ-106И.

Промислові дослідження проведені на 250-т конвертерах конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський меткомбінат». При проведенні досліджень проводили відбирання для наступного хімічного та мікроструктурного аналізу проб конвертерного шлаку та зразків вогнетриву з нанесеним гарнісажем. Для контролю зміни профілю робочого простору конвертера використовували інтерферометр LaCam M007.

У **третьому розділі** наведені результати досліджень гідрогазодинаміки роздування рідкої ванни при її комбінованому продуванні газовими струменями. Встановлено, що у дослідженому діапазоні витрат газу, при висоті наконечника одноярусної фурми над ванною 15-45 кал. і куті нахилу сопел Лаваля до вертикалі 15-25 град., пробивання струменями газу рідкої ванни супроводжується утворенням «кратерів» та зворотніх газорідинних потоків. Відповідно до отриманих результатів досліджень режими роздування розділили на три групи – «намивання» рідини на стіни, «розведення» реакційних зон («без пробою» ванни) та «з пробоєм» ванни як верхніми, так і донними газовими струменями.

В ході проведення досліджень автором встановлено, що потік газу з донних сопел збільшує розмір кратерів на 10-15% (у порівнянні з тільки верхнім роздуванням), висоту гребеню кратера та обсяги рідини, що викидається на стіни конвертера. За результатами експериментальних досліджень доведено, що раціональним варіантом промислового варіанту комбінованого роздування є режим «з пробоєм» ванни. Узагальнення результатів проведених досліджень дозволило зробити висновок, що при використанні одноярусних фурм нанесення рівномірного за товщиною шару гарнісажного покриття по всій висоті робочого простору не забезпечується.

Відповідно до проведених досліджень встановлено, що мінімізація протяжності зони «зашлакованості» стобура фурми забезпечується при висоті розташування наконечника фурми над ванною у діапазоні 2,5...4,2 кал. та відстані між ярусами сопел у 9,6 кал. Визначені характерні зони з «піковими» значеннями показників при глибині ванни у 1,33...2,0 см при 5

кал. висоти фурми та 9,6 кал. між ярусами, а також - 2,33...3,0 см при 7 кал. висоти та відстанями між ярусами 12 кал. відповідно.

В ході виконання досліджень автором запропоновано методику розрахунку впливу тиску бокових струменів на газошлаковий потік. При чому найбільш значимими параметрами у цьому випадку будуть площа та діаметр утвореного перетину бокових струменів з потоком.

У **четвертому розділі** наведені результати математичного моделювання гідрогазодинаміки роздування ванни з нанесенням на стіни конвертера гарнісажного покриття та фізичного моделювання розтікання модифікованого шлаку по поверхні вогнетриву з утворенням гарнісажного шару.

Для умов проведення чисельного моделювання задачу прийнято, як циліндрично симетричну відносно вісі газошлакового потоку та зведено до циліндрично двовимірної. Крім газової фази-носію, враховується ще дисперсна фаза: краплі шлаку. У якості граничних умов для математичного моделювання на стінах конвертера прийняті умови часткового налипання шлакового шару, а на усіх інших границях – вільного ковзання.

За результатами математичного моделювання встановлено оптимальний режим роздувки шлакового гарнісажу ($H_{\phi} = 5; 4; 3; 1$ м ($\tau = 1:1:1:2$)), застосування якого забезпечує нанесення відносно рівномірного за товщиною гарнісажного шару на всій поверхні футерівки.

Паралельно з визначенням оптимальних режимів роздування шлаку автором було визначено вплив вмісту MgO у шлаці на поверхневий натяг шлакового розплаву. Підтверджено, що підвищення вмісту MgO у складі шлаку понад 12 % призводить до збільшення краевого куту змочування до 75...80 град., що може перешкоджати утворенню щільного покриття гарнісажем поверхні вогнетриву. Введення до шлаку часток фракції більше 3,0 мм (3,0...3,6 мм) також призводить до збільшення величини крайового кута змочування та негативно впливає на розтікання шлаку по поверхні вогнетриву. При виконанні досліджень встановлено, що введення

тугоплавких часток (на основі MgO) до шлаку, призводить до зміни величини роботи адгезії на $0,2 \dots 0,8 \text{ Н/м}^2$.

У **п'ятому розділі** представлені результати проектування та впровадження конструкції двоярусної гарнісажної фурми та технології нанесення шлакового гарнісажу з її використанням в умовах конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський меткомбінат».

За рахунок виконання сканування профілю робочого простору конвертера у різні періоди кампанії (500 й 501 та 4130 й 4131 плавки по футерівці) вперше визначені фактичний розподіл та товщина шару нанесеного роздуванням ванни шлакового гарнісажу (від $5 \dots 8 \text{ мм}$ у районі горловини до $35 \dots 200 \text{ мм}$ - у нижній частині агрегату). Встановлені «проблемні» (з підвищеною інтенсивністю зносу) зони на футерівці, що розташовані на меридіанах $50, 150, 215, 310$ град.

При виконанні дисертаційних досліджень автором розроблена методика розрахунку необхідної тривалості роздування ванни та положення наконечника фурми над шлаковою ванною, з врахуванням гідрогазодінамічних особливостей процесу.

Для умов 250-т конвертера була спроектована багатоярусна гарнісажна фурма, яка була оснащена на відстані $2,5 \text{ м}$ від наконечника фурми з 2-ма направленими на цапфені зони соплами Лаваля ($d_{\text{кр}}=43 \text{ мм}$) й 4-ма соплами Лаваля ($d_{\text{кр}}=37 \text{ мм}$), на стовбурі було розміщено другий ярус з 4-х циліндричних сопел ($d=20 \text{ мм}$), розміщених під кутом 115° до поверхні ванни.

В ході виконання досліджень встановлено, що співвідношення витрат азоту на бокові та основні сопла Лаваля складає 17% та 83% від загальних ($600 \dots 800 \text{ м}^3/\text{хв.}$) витрат газу на роздування ванни. В цьому випадку за результатами розрахунку площі перетину бокових струменів визначено, що краплями шлаку, переміщеного газовими потоками з бокових сопел другого ярусу, можливе перекриття до $46,98 \%$ площі робочої поверхні футерівки агрегату. Використання двоярусної гарнісажної фурми на 250-т конвертерах

в умовах ПАТ «ДМК» дозволило оперативно відновлювати раціональний профіль робочого простору конвертера за рахунок утворення гарнісажного шару заданої товщини у визначених «проблемних» зонах та підвищити стійкість футерівки.

Для комбінованого роздування ванни автором дисертаційної роботи запропонований спосіб роздування шлакової ванни з розосередженням у часі вводом суміші порошкоподібних тугоплавких часток на основі MgO до гарнісажного шлаку по ходу операції.

При впровадженні розроблених технологічних режимів роздування шлакової ванни з використанням двоярусної гарнісажної фурми досягнуто ресурсо- та енергозберігаючого ефектів за рахунок: підвищення продуктивності конвертерів при зменшенні тривалості поточних простоїв на гарячий ремонт футерівки на 1,35%; підвищення стійкості футерівки конвертерів на 9,5%; зменшення витрат вогнетривких матеріалів для гарячого ремонту футерівки на 6,01%. Впровадження розробок дисертаційної роботи дозволило в умовах роботи конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський МК» отримати сумарний економічний ефект у розмірі 1694223,44 грн. (1,96 грн./т сталі за 2016 рік). Розрахунковий енергетичний ефект від впровадження запропонованого способу роздування шлакової ванни для конвертерного цеху ПАТ «ДМК» складає від 14,4 до 36,46 МДж/т сталі.

Наукова новизна отриманих результатів.

Базуючись на результатах теоретичного аналізу та експериментальних досліджень отримані нові відомості стосовно вдосконалення технологічної операції нанесення шлакового гарнісажу на футерівку кисневих конверторів. Отримані результати і рекомендації характеризуються новизною.

До найбільш суттєвих, з наукової точки зору, результатів дисертаційної роботи Недбайло М.М. можна віднести наступне:

1. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень отримано нові відомості про закономірності взаємодій при роздуванні шлакової ванни газовими струменями у конвертері із комбінованим продуванням. Згідно з

запропонованою класифікацією режимів роздування ванни із нанесенням шлаку на футерівку, можна виділити режими: «намивання» шлаку при утворенні неглибоких кратерів й відношенні висоти наконечника фурми до діаметра кола розміщення донних вставок менш ніж 0,28, «розведення» реакційних зон при відношенні від 0,28 до 0,44 та «пробою» ванни при відношенні більш ніж 0,44 відповідно. Вперше встановлений ступінь впливу донних струменів на обсяг й напрямки винесення шлакових крапель та умови попередження «запечаткування» донних вставок.

2. Уперше встановлений прямими вимірюваннями та підтверджений розрахунками фактичний розподіл гарнісажного шару на футерівці конвертера. Це дозволило обґрунтувати спосіб коригування профілю робочого простору агрегату з використанням двоярусної фурми. Визначений ступінь впливу бокових газових струменів верхнього ярусу на потік шлакових крапель та умови перенаправлення останніх у визначені зони на стінах конвертера. Раціональне співвідношення між кутом нахилу сопел верхнього ярусу та сопел Лавалля фурми для забезпечення максимальної густини шару гарнісажу на футерівці знаходиться у діапазоні 3,8-4,1.

3. Отримали подальший розвиток наукові уявлення щодо фізико-хімічної схеми утворення гарнісажного шару на поверхні вогнетриву при роздуванні модифікованого конвертерного шлаку. На основі термодинамічного аналізу реакцій між оксидами заліза шлаку та вуглецю вогнетриву підтверджено блокуючу дію монооксиду вуглецю для фільтрації модифікованого шлаку у пори вогнетривів. Вперше визначений комплексний вплив газогідродинаміки роздування шлакової ванни, товщини й температури футерівки на умови утримання гарнісажного шару.

4. Науково обґрунтований спосіб управління внутрішнім тертям у нанесеному на футерівку шлаковому шарі за рахунок внесення у об'єм роздуваної шлакової ванни тугоплавких часток. Вперше на основі експериментальних досліджень та чисельних розрахунків встановлені залежності між хімічним складом шлаку, кількістю й діаметром тугоплавких

часток, крайовим кутом змочування шлаком вогнетриву та роботою адгезії. Внесення тугоплавких часток у кількості 6-8 % від маси шлаку змінює роботу адгезії до вогнетриву на $0,2...0,8 \text{ Н/м}^2$, у залежності від співвідношення вмісту (CaO) та (MgO). Раціональним визнано розосереджене у часі внесення до шлаку тугоплавких часток діаметром 1-3 мм.

5. Розроблено методику визначення необхідної тривалості роздування шлакової ванни та висоти розташування двоярусної фурми по ходу операції. Вперше встановлено, що при роздуванні шлаку у 250-т конвертері з застосуванням наконечника фурми з соплами Лаваля (з кутом нахилу 170°) та розташованими на відстані у 2,5 м соплами верхнього блоку (з кутом нахилу 115°), висота нанесеної шлакової «плями» не залежить від розташування фурми, та складає 3,27 м. Це визначає умови коригування профілю робочого простору конвертера шляхом зміни напрямку витоку бокових струменів та переміщенням фурми по висоті (H_f) за заданим алгоритмом. За результатами чисельного моделювання визначено, що площа перекриття боковими струменями робочої поверхні конвертера складає від 29,5 до 46,9 % і для умов 250-т конвертера значення H_f повинні бути у діапазоні 1,50-1,65 м у перший та 0,40-0,55 м у основний період роздування шлакової ванни.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблені експериментальні установки й авторські методики моделювання процесів роздування шлаку на стіни конвертера з комбінованим продуванням ванни та для дослідження умов ошлакування гетерогенним модифікованим конвертерним шлаком поверхні периклазовуглецевих вогнетривів.

2. Запропоновані математичні моделі та методики розрахунку, придатні для моделювання газогідродинаміки роздування шлакової ванни, визначення товщини нанесеного гарнісажного шару при перемінному по ходу операції положенні фурми, визначення раціонального складу конвертерного шлаку з тугоплавкими частками, умов його розтікання по футерівці та утворення гарнісажного шару.

3. Розроблено методику проектування багатоярусної гарнісажної фурми. Впроваджена у промислову експлуатацію на 250-т конвертерах конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський меткомбінат» конструкція двоярусної гарнісажної фурми та технологія роздування шлаку з її використанням. Фурма містить 6-ти сопловий наконечник зі згрупованими по три у напрямках цапфених зон соплами Лаваля двох різних діаметрів та розміщений на відстані 2,5 м від торця наконечника верхній ярус з 4-х циліндричних сопел, призначених для перенаправлення частини відхідного газошлакового потоку й коригування профілю робочого простору конвертера шляхом утворення гарнісажного шару заданої товщини на визначених секторах стін агрегату.

4. Запропонована конструкція багатоярусної фурми із можливістю зміни відстані між ярусами по ходу кампанії конвертера по футерівці. Розроблений спосіб коригування фізико-хімічного стану шлакової ванни по ходу її роздування на футерівку конвертера шляхом подачі у потоках донного дуття порошкоподібних магnezіальних матеріалів. Новизна і промислова корисність технічних рішень підтверджуються отриманими патентами України «Гарнісажна фурма із змінним розташуванням ярусів» № 130174 (опубл. 26.11.2018, бюл. №22), «Спосіб нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертерів комбінованого дуття» №129813 (опубл. 12.11.2018, бюл. №21).

5. При впровадженні розробок в умовах конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський меткомбінат» досягнуто ефекту з підвищенням продуктивності 250-т конвертерів внаслідок зменшення простоїв на гарячий ремонт футерівки на 1,35%; підвищення стійкості на 9,5%; зменшення витрат вогнетривких матеріалів на ремонт футерівки на 6,01%. Отриманий економічний ефект склав 1694223,44 грн. (1,96 грн./т сталі за 2016 рік).

6. Розроблені у дисертаційній роботі методики використовуються на кафедрі металургії чорних металів Дніпровського державного технічного університету в навчальному процесі при читанні дисциплін «Технології

ресурсозбереження в металургії», «Техніка високотемпературного експерименту», а також при виконанні здобувачами вищої освіти випускних кваліфікаційних робіт.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях.

Основні положення і результати дисертаційної роботи були розглянуті на 7 наукових конференціях. Матеріали дисертаційного дослідження опубліковані у 22 роботах, а саме: 10 - статей у фахових наукових виданнях, що входять до переліку затверджених ДАК України, у тому числі 3 – у виданнях, що включені до науково-метричних баз, 3 – у спеціалізованих періодичних виданнях, 2 – патенти України.

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

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

Основні зауваження до дисертації

1. Відповідно до матеріалів розділу 2 невідомо яким чином здійснювалося врахування співвідношення щільності газу, що використовувався для роздуву шлаку, та шлакового розплаву в реальних умовах та за умов низькотемпературного моделювання.

2. Відповідно до матеріалів розділу 2 необхідно уточнити яким чином визначалися фізичні властивості (щільність, в'язкість) клейсеру і для яких концентрацій у ньому крохмалю.

3. Відповідно до відомостей розділу 2 відсутня інформація стосовно донних продувальних блоків, що використовувалися на моделі кисневого конвертера при низькотемпературному моделюванні та їх відповідність конструкції донних продувальних блоків реального конвертера.

4. На рис. 2.5 не вказано розміщення кварцового скла для захисту робочого простору печі Таммана від потрапляння окислювального середовища.

5. Відповідно до даних рис. 3.2 чи враховувалася подоба між фазного натягу у системі «плексиглас-клейстер» і «перикловуглецева футерівка – рідкий шлак».

6. Відповідно до даних рис. 4.3 та 4.4 невідомо у якому програмному середовищі було виконано чисельне математичне моделювання процесу роздувки шлаку у кисневому конвертері.

7. Рис. 4.8 краще було б додати масштабну лінійку для співвідношення реальних розмірів або вказати кратність збільшення.

8. Рис. 1.1 дублює рис. 5.1.

9. Відповідно до таблиці 5.3 необхідно уточнити методику розрахунку енерговитрат при використанні різних конструкцій гарнісажних фурм.

10. Необхідно надати розширену інформацію стосовно стаей економії, які забезпечують економічний ефект від впровадження запропонованої розробки.

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

Висновки щодо відповідності дисертаційної роботи 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 Недбайло Миколи Миколайовича є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані рішення, а також практичні результати щодо підвищення стійкості футерівки кисневих конверторів за рахунок вдосконалення операції нанесення шлакового

гарнісажу та створення принципово нових конструкцій багатоярусних гарнісажних фурм.

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 постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015р., щодо кандидатських дисертацій, а її автор – Недбайло Микола Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів»

Офіційний опонент:

Начальник відділу фізико-
технічних проблем металургії сталі
Інституту чорної металургії НАН України,
кандидат технічних наук



Молчанов Л.С.

Підпис Молчанова Л.С. засвідчую:

Начальник відділу кадрів
Інституту чорної металургії НАН України



Ружина Л.М.