

До спеціалізованої вченої ради Д 64.832.04
при Харківському національному технічному
університеті сільського господарства
імені Петра Василенка

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, доцента кафедри технології матеріалів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка Клочко Оксани Юріївни, на дисертаційну роботу **Кругляк Ірини Василівни** «Науково-технологічні засади формування зносо-корозійностійких покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - Матеріалознавство (13 Механічна інженерія)

На відгук представлені дисертація, автореферат

Актуальність теми дисертаційної роботи

Актуальність дисертаційної роботи Кругляк Ірини Василівни обумовлена необхідністю підвищення поверхневої міцності деталей з конструкційних матеріалів. Представлені авторкою дослідження присвячені розробці нових захисних покриттів конструкційних і технологічних матеріалів, встановленню закономірностей зв'язку між показниками різних властивостей матеріалів, фізичних та фізико-хімічних явищ в об'ємі і на поверхні деталей та вузлів з різних матеріалів в процесі експлуатації.

Дисертаційна робота відповідає пріоритетному напрямку «Нові речовини і матеріали» відповідно до Закону України № 2519-IV від 09.10.2010 р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки України «Створення та застосування технологій отримання, зварювання, з'єднання та обробки конструкційних, функціональних і композиційних матеріалів», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України № 942 від 07.09.2011 р. Робота виконана дисертанткою в Дніпровському державному технічному університеті відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри автомобілів та автомобільного господарства за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт: «Отримання захисних покриттів на вуглеграфітових матеріалах в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу для деталей аерокосмічної техніки» (ДР 0109U000648); «Отримання жароміцних сплавів на інтерметалідній основі в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу» (ДР 0111U002176); «Поверхневе зміцнення титанових сплавів деталей газотурбінних двигунів в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу» (ДР 0113U002049); «Розробка технології та організації промислового

виробництва композиційних матеріалів, стійких в умовах дії високих температур та агресивних середовищ, для авіаційної та космічної техніки» (ДР 0115U004839); «Створення і дослідження ефективних способів зміцнення поверхневих шарів деталей автомобілів, дослідження впливу автотранспорту на навколишнє середовище» (ДР 019U003603). А також за госпдоговірними тематиками за підтримки підприємств ПрАТ «Запоріжжкокс» і ПрАТ «Южкокс» за темами: «Отримання алітованих покриттів на конструкційних матеріалах, працюючих в умовах коксохімічного виробництва ПрАТ «Запоріжжкокс» (№ ДР 0119U000256); «Дослідження експлуатаційних характеристик конструкційних матеріалів з алітованими покриттями, працюючими в умовах ПрАТ «Запоріжжкокс» (№ ДР 0119U000256); «Дослідження експлуатаційних характеристик конструкційних матеріалів з титаноалітованими покриттями, працюючими в умовах ПрАТ «Южкокс» (№ ДР 0120U105805). У вищезазначених роботах здобувачка брала безпосередню участь, як виконавець та використовувала отримані результати у дисертації, що засвідчує *актуальність* тематики даного дослідження

В своїй дисертації Кругляк І.В. запропонувала технологію отримання дифузійних шарів із застосуванням композиційних насичуючих середовищ, що ґрунтується на використанні внутрішніх джерел тепла порошкової шихти. Розроблена технологія характеризується використанням більш дешевої внутрішньої хімічної енергії взаємодії реагентів (ECD), замість зовнішньої електричної; простотою й низькою вартістю устаткування; збільшенням продуктивності праці, що в цілому призводить до зниження собівартості продукції.

Наведені факти, характеризують тему рецензованої дисертаційної роботи Кругляк Ірини Василівни як *актуальну*, та підтверджують її відповідність вимогам за ознакою «актуальність обраної теми дисертації».

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертаційну роботу Кругляк І.В. викладено у анотації, вступі, 7 розділах, загальних висновках, переліку використаних джерел і 10 додатках. Повний обсяг роботи складає 457 сторінок, у тому числі основного тексту 307 сторінок. Робота ілюстрована 187 рисунками, наведено 59 таблиць. Перелік використаних літературних джерел нараховує 390 найменувань на 40 сторінках.

Науковий та методичний рівні викладання дисертації відповідають вимогам Міністерства освіти та науки України. Назва дисертації відображає її зміст.

У вступі авторкою обґрунтована актуальність проблеми та показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами; сформульовано мету та задачі, що вирішені, окреслено об'єкт, предмет та методи досліджень. Відображена наукова новизна, практична цінність, апробація та публікації отриманих результатів з зазначенням особистого внеску здобувача.

У першому розділі Кругляк І.В. проаналізовано літературні дані щодо основних відомих порошкових зносо-корозійностійких матеріалів, їх переваги та недоліки. Це дозволило дисертантці зробити висновок про переважаючу роль структури та фазового складу захисних дифузійних шарів на їхні фізико-механічні і експлуатаційні властивості; підкреслити внесок адгезійного зв'язку, пористості на границі «захисне покриття – матриця», в проблемі забезпечення високих фізико-механічних та функціональних характеристик конструкційного матеріалу. На основі аналізу експериментальних та теоретичних робіт досліджено нові аспекти отримання захисних покриттів; проведено аналіз сучасних методів підвищення надійності деталей машин поверхневим зміцненням; розглянуто особливості формування зносо-корозійностійких покриттів шляхом створення наноструктурованих поверхневих шарів; особливості процесів структуроутворення дифузійних покриттів з використанням композиційних порошкових середовищ та 3D моделювання структури покриттів конструкційних матеріалів. Проведений аналіз підтвердив актуальність теми і дав змогу автору сформулювати мету роботи і поставити завдання досліджень.

У другому розділі дисертаційної роботи дисертанткою приведені матеріали, устаткування й експериментальні методи та методики дослідження структури, фазового та хімічного складу, фізико-механічних, триботехнічних та корозійних властивостей матеріалів із захисними покриттями, отриманими з використанням композиційних насичуючих середовищ. Методологічний підхід включав теоретичні, експериментальні та практичні дослідження, спрямовані на підвищення довговічності матеріалів за рахунок їхнього зміцнення. Для порівняння характеристик захисних покриттів авторка проводила дифузійне насичення з залученням відомих порошкових шихт. У якості вихідних компонентів використано шихти зі складом з порошків насичуючих елементів оксидних та без оксидних систем.

У третьому розділі виконано термодинамічне моделювання насичуючого середовища (газової фази) при формуванні дифузійних покриттів, що дозволило визначити можливості застосування конкретних речовин, які формують композиційні насичуючі середовища. Встановлено хімічні реакції, протікання яких можливе в температурному інтервалі 900–1200 °С для дифузійного насичення конструкційних матеріалів. В діапазоні температур 700–1500 К, при титануванні, газоподібні продукти взаємодіють з елементами порошкової системи (Al, Ti, Cr) і переходять в газову фазу, що складається з AlH, AlH₂, AlH₃, AlF, AlF₂, AlOF, AlHF, AlOHF₂, CrO, CrH, CrOH, CrF, CrF₂, CrF₃, CrI, CrI₂, CrI₃, VO, TiF, TiF₂, TiF₃, TiF₄, TiOF, TiOF₂, TiI, TiI₂, TiI₄, TiOH. В діапазоні температур 750–1450 К, при молібденуванні, газоподібні продукти взаємодіють з елементами порошкової системи (Al, Mo, Cr) і переходять в газову фазу, що складається з CrH, CrOH, CrCl, CrCl₂, CrCl₃, CrOH, CrOCl₂, CrI, CrI₂, CrI₃, MoCl, MoCl₂, MoCl₃, MoCl₄, MoOCl, MoOCl₂, MoI, MoI₂, MoI₃, MoI₄. При термодинамічному моделюванні отримання захисних дифузійних шарів в композиційних насичуючих середовищах значення теплоємності від T (К)

знаходяться в наступному ряді для КНС №1: В–Al–Ti–Mo–V–W. Для КНС №2: Mo–V–V–Al–Ti–W, що корелює зі значеннями температури самозаймання.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений математичному моделюванню процесу отримання дифузійних покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ. Вперше було вирішено сполучену нелінійну двовимірну задачу теорії ECD із застосуванням попередньо отриманих результатів рішення задачі теорії дифузії в нестационарному тепловому полі. Визначені температурні поля при насиченні в КНС №1 дозволили встановити дві зони: прогрівання та теплового самозаймання. Площина температурного поля збільшується в залежності від температур самозаймання та максимальної. Зростання температурного поля в залежності від насичуючого елемента має наступну послідовність: титанування – ванадіювання – алітування – вольфрамівання – борування – молібденування. Відповідно на загальну картину найбільший вплив мають: максимальна температура (1130°C–1150°C–1170°C–1190°C–1200°C–1220°C) і швидкість розповсюдження хвилі самозаймання. Визначені температурні поля при насиченні в КНС №2 мають більшу зону прогрівання в порівнянні з КНС №1 за рахунок подвійного самозапалювання. Авторкою визначено, що стадія самозаймання в процесі нагрівання має набагато меншу тривалість. Доказано що товщина дифузійного шару, виміряна експериментально, в середньому для КНС №1 у 1.16-1.23 рази, а для КНС- №2 у 1.14-1.22 рази перевищує отриману величину, розраховану виходячи зі значення коефіцієнтів дифузії.

У п'ятому розділі дисертації приведено результати моделювання формування функціональних покриттів на конструкційних матеріалах та розроблено зносо-корозійностійкі композиційні насичуючі середовища. Вперше встановлено термодинамічні закономірності температури самозаймання (650...770°C) і максимальної температури (940...1300°C) від вмісту ECD (16...25% мас.) при формуванні дифузійних шарів. Отримані математичні залежності дозволяють прогнозувати товщину захисних покриттів на конструкційних матеріалах при використанні порошкових композиційних насичуючих середовищ. У роботі отримала подальший розвиток фізико-хімічна модель процесу формування дифузійних шарів з використанням композиційних насичуючих середовищ, яка враховує склад основних галогенідів насичуючого середовища, структуру та фазовий склад дифузійних шарів, температурно-часові параметри процесу насичення. Виконані дослідження дозволили дисертантці встановити максимальні температури процесів та концентрацію кінцевого продукту. Швидкість поширення хвилі горіння змінюється від 2.7 до $8.6 \cdot 10^{-2}$ м/с.

Шостий розділ присвячений дослідженню структури і кінетиці формування захисних покриттів та прогнозування їх експлуатаційних властивостей. Вперше встановлено термодинамічні закономірності температури самозаймання (650...770°C) і максимальної температури (940...1300°C) від вмісту ECD (16...25% мас.) при формуванні дифузійних шарів. Отримані математичні залежності дозволяють прогнозувати товщину захисних покриттів. Вперше встановлено, що в умовах термохімічної взаємодії компонентів

формуються багатофазні дифузійні шари з виділенням надлишкових зміцнюючих фаз на основі інтерметалідних сполук $TiAl$, Cr_2Ti , Fe_7W_6 . Це дозволило підвищити показники зносостійкості матеріалів. Запропоновано та реалізовано принципово новий підхід щодо прогнозування експлуатаційних властивостей з використанням приведених воксельних кольорів оцінки 3D структур: пористості, фазового складу, карбідних фаз, характеру розподілу насичуючих елементів в захисних дифузійних шарах з використанням оксидних і безоксидних систем.

Досліджено вплив кількості газотранспортного агента при отриманні захисних покриттів. Встановлено, що введення його в кількості більше 6% призводить до зменшення товщини покриття на 25–35% за рахунок стравлювання дифузійного шару на п'ятій стадії. Отримано рівняння, що характеризують залежність товщини дифузійних шарів від технологічних характеристик процесу. Кінетичні залежності впливу часу витримки та температури процесу на товщину захисного покриття в КНС №1 і КНС №2 доказали, що часова залежність близька до параболічної, а температурна - до експоненціальної, що свідчить про механізм отримання покриттів завдяки дифузії елементів. Для прогнозування структуроутворення при дослідженні мікроструктури дифузійних шарів на конструкційних матеріалах з різним вмістом вуглецю (0.07... 0.8% C) побудовано кольорові моделі із застосуванням 2D зображення мікроструктури; вокселізації 3D мікроструктури при оцінці пористості; встановлення порогових значень фазового складу дифузійного шару; 3D структури оцінки карбідних фаз при ідентифіковані мікроструктури та 3D зображення характеру розподілу насичуючих елементів, що забезпечують високу точність збігу металографічного зображення оригінальної структури.

У сьомому розділі дисертаційної роботи приведені результати експлуатаційних характеристик конструкційних матеріалів після зміцнення в композиційних насичуючих середовищах і дослідно-виробнича апробація з практичним використанням отриманих результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено нові закономірності впливу Al, V, Ti, Mo, B, W (12... 35% мас.) – для безоксидних систем КНС №1 і V_2O_5 , Mo_2O_3 , B_2O_3 , WO (20... 35% мас.) – для оксидних систем КНС №2 на зносо-корозійні властивості конструкційних матеріалів. Вперше отримано нові експериментальні дані та встановлено закономірності впливу складу композиційних насичуючих середовищ на експлуатаційні властивості дифузійних шарів, що дає можливість збільшити відносну зносостійкість конструкційних матеріалів на 15... 40%, корозійну стійкість на 18... 35% і жаростійкість на 22... 30% у порівнянні з покриттями, отриманими в ізотермічних умовах.

Запропоновано новий комплексний підхід дослідження мікротвердості з використанням геометричної інтерпретації у вигляді трикутника, що складається з основних елементів при насиченні в КНС. Виділено області з постійним значенням мікротвердості. Досліджено розподіл залишкових напружень по товщині захисного покриття. В порівнянні з покриттями, отриманими в ізотермічних умовах в відновлених шихтах, вони більші на 17–

22%, що авторка пояснює більш високою концентрацією легуючих елементів в покриттях, отриманих з використанням КНС та їх проникненням в конструкційний матеріал на більшу глибину. За результатами досліджень міцності зчеплення дифузійних покриттів, отриманих в розроблених КНС та в ізотермічних умовах у відновлених шихтах, встановлено, що найбільш висока міцність зчеплення отримана у алітованих і молібденованих покриттів. Адгезія на сталі 45 зростає від 5.8–6.1 МПа (алітування) до 6.5–6.6 МПа (молібденування), міцність зчеплення зростає в 1.15–1.20 рази. Отримані результати корелюють з показником сумарного балу крихкого руйнування, який у ізотермічних покриттів більший на 20–30%. На основі теоретичних і експериментальних досліджень формування захисних покриттів, Кругляк І.В. розроблено моделі та встановлено зв'язок структуроутворення з експлуатаційними властивостями. Здійснено промислово апробацію технології отримання захисних шарів з використанням КНС на ПрАТ «Южжкокс», «Полтавському ГЗК», ТОВ «Придніпровський механічний завод» і ТОВ «Верхньодніпровський авторемонтний завод».

Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій, їх достовірність та новизна

Застосування комплексу сучасних методів досліджень основних фізико-механічних, триботехнічних, корозійних властивостей матеріалів та успішне впровадження отриманих захисних дифузійних шарів з використанням композиційних насичуючих середовищ у промисловості, забезпечують достатню *достовірність* результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, також відзначаються достатньою новизною і обґрунтованістю, базуються на глибокому аналізі досліджуваних явищ, експериментальні результати узгоджуються з результатами комп'ютерного моделювання, інтерпретація яких відповідає фундаментальними положеннями сучасного матеріалознавства.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів підтверджується також апробацією роботи на багатьох науково-технічних конференціях з проблематики теми дисертаційної роботи.

Вище зазначене дає підстави вважати наукові положення, висновки та рекомендації, що розроблені дисертанткою, достатньо *обґрунтованими і достовірними*.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розвитку науково-технологічних засад керування процесами структуроутворення при дифузійному насиченні конструкційних матеріалів з використанням термохімічного синтезу елементів, а саме:

- *Вперше* розроблено та сформульовано теоретичні фізико-хімічні положення формування функціональних покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ, які полягають в термохімічному поєднанні елементів в єдину складову композицію, де головним чинником виступає вид композиційних сполук на базі оксидних систем з V_2O_5 , Mo_2O_3 ,

B_2O_3 , WO і без оксидних систем з Al , V , Ti , Mo , B , W з 5...6% мас. газотранспортного агента: NH_4Cl , I_2 , AlF_3 , NH_4F . При цьому використовуються внутрішні термохімічні джерела тепла енергетичної складової дифузії (ECD). Це розширює можливості створення конструкційних матеріалів, працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин коксохімічного виробництва за рахунок підвищеної концентрації хрому на 5...27%, алюмінію на 8...19 %.

- *Вперше* встановлено термодинамічні закономірності температур самозаймання (650...770°C) і максимальної (940...1300°C) від вмісту ECD (16...25% мас.) при формуванні дифузійних шарів. Отримані математичні залежності дають змогу прогнозувати товщину захисних покриттів на конструкційних матеріалах при використанні порошкових композиційних насичуючих середовищ.

- *Вперше* встановлено, що в умовах термохімічної взаємодії компонентів формуються багатофазні дифузійні шари: Fe_2Al_5 , Fe_3Al , $(Cr,Fe)_{23}C_6$, $(Cr,Fe)_7C_3$, $FeCr$, Al_2Cr_3 , $CrAl_2$, V_2C , VC , TiC , Mo_2C , Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$, Fe_3Mo_3C , Fe_2Mo_2C , $(Fe,Cr,Al)_2B$, FeB , $Fe_3(CB)$, Fe_2W_2C , Fe_7W_6 з виділенням надлишкових зміцнюючих фаз на основі інтерметалідних сполук $TiAl$, Cr_2Ti , Fe_7W_6 , що дозволяє підвищити показники зносостійкості матеріалів.

- На основі теоретичних і експериментальних досліджень отримано *нові закономірності* впливу Al , V , Ti , Mo , B , W (12...35% мас.) – для безоксидних систем КНС №1 і V_2O_5 , Mo_2O_3 , B_2O_3 , WO (20...35% мас.) – для оксидних систем КНС №2 на зносо-корозійні властивості конструкційних матеріалів.

- Запропоновано та реалізовано *принципово новий підхід* щодо прогнозування експлуатаційних властивостей з використанням приведених воксельних кольорів оцінки 3D структур: пористості, фазового складу, карбідних фаз, характеру розподілу насичуючих елементів в захисних дифузійних шарах з використанням оксидних і безоксидних систем.

- *Вперше* отримано нові експериментальні дані та встановлено закономірності впливу складу композиційних насичуючих середовищ, що леговані хромом (15% мас.), алюмінієм (12...25% мас.), титаном (18% мас.), ванадієм (22% мас.), молібденом (32% мас.), бором (12% мас.), вольфрамом (35% мас.) на експлуатаційні властивості дифузійних шарів, що дає можливість збільшити відносну зносостійкість конструкційних матеріалів на 15...40%, корозійну стійкість на 18...35% і жаростійкість на 22...30% у порівнянні з покриттями, отриманими в ізотермічних умовах. Залежність зносостійкості від часу випробувань описується поліномом п'ятого порядку, а корозійна стійкість у 20% водних розчинах HCl , H_2SO_4 , HNO_3 – поліномом четвертого порядку.

- *Отримала подальший розвиток* фізико-хімічна модель процесу формування дифузійних шарів з використанням композиційних насичуючих середовищ, яка враховує склад основних галогенідів насичуючого середовища: $AlCl$, $AlCl_2$, AlI , AlI_2 , $CrCl$, $CrCl_2$, $CrCl_3$, CrI , CrI_2 , CrI_3 , VCl , VCl_2 , VCl_3 , VCl_4 , CrF , CrF_2 , CrF_3 , TiF , TiF_2 , TiF_3 , TiF_4 , TiI , TiI_2 , TiI_4 , $MoCl$, $MoCl_2$, $MoCl_3$, $MoCl_4$, MoI , MoI_2 , MoI_3 , MoI , AlF , AlF_2 , BF , BF_2 , WF_2 , WF_3 , WF_4 , WI_2 , WI_3 , I_4 , структуру та фазовий склад дифузійних шарів, температурно-часові параметри процесу насичення – 1...2,5 години.

Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь впровадження

Отримано нові результати моделювання, прогнозування структури, фазового складу покриттів і їх експлуатаційних властивостей. Розроблено інноваційні технології, що дозволили забезпечити підвищення зносо-корозійної стійкості захисних покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ.

Здійснено промислову апробацію технології отримання захисних шарів з використанням КНС на ПрАТ «Южжокс» (Акт промислової апробації, річний економічний ефект склав 1270 тис. грн), «Полтавському ГЗК» (Акт впровадження, очікуваний річний економічний ефект - 320 тис. грн.), ТОВ «Придніпровський механічний завод» і ТОВ «Верхньодніпровський авторемонтний завод» (Акти впровадження нових технологій з сумарним очікуваним річним економічним ефектом 470 тис. грн.).

Нові композиційні насичуючі середовища для зміцнення поверхні конструкційних матеріалів захищені 4 патентами України.

Відповідно Акту впровадження, одержані результати досліджень Кругляк І.В. використовуються у навчальному процесі Дніпровського державного технічного університету при підготовці фахівців третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальності 132 – Матеріалознавство (галузі знань 13 – «Механічна інженерія»).

Повнота викладення результатів в опублікованих працях. Апробація результатів дисертації

Основні результати досліджень за темою дисертації викладено авторкою в 74 науково-технічних працях, в тому числі: 3 монографіях, 34 статтях у наукових фахових виданнях України, 15 статтях у закордонних виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою SCOPUS (індекс Хірша (h-index) $h=5$), 1 статтею у закордонному науково-технічному виданні, 17 публікацій у матеріалах і працях конференцій, отримано 4 патенти України.

Публікації за темою дисертації повністю відображають основні положення і висновки докторської дисертації.

Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам

Дисертація і автореферат написані грамотною технічною мовою на високому науковому рівні. Стиль викладення результатів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує належну доступність їх сприйняття.

Автореферат за змістом є ідентичним основним положенням дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота і автореферат оформлені у відповідності до діючих вимог і відповідають затвердженому МОН України паспорту спеціальності 05.02.01-матеріалознавство.

Дисертаційна робота містить наукові положення, які раніше не були захищені і нові науково-обґрунтовані результати досліджень та задовольняє вимогам пп.2,5,7,8 паспорту спеціальності 05.02.01-матеріалознавство.

Основні зауваження щодо змісту дисертації

Відзначаючи хороший рівень роботи, наукове та прикладне значення результатів, доцільно зробити деякі зауваження.

В першу чергу, слід зазначити ряд формальних зауважень:

1. В тексті дисертації є ряд описок та друкарських помилок, наприклад: набір латинських літер кирилицею при позначенні хімічних елементів (стор.256, «Сг» замість «Cr»); русизми (у тексті «ж+α-Fe», замість «p+α-Fe»); для однакових термінів використовується різне написання («насичувальних» – у анотації та «насичуючих» – у основному тексті роботи).

2. Відсутній розділ «Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів», що ускладнює ознайомлення роботою, в якій багато таких елементів.

Також є декілька зауважень по суті виконаних робіт:

3. З оглядового розділу дисертації необхідно було вказати які використовуються засоби для управління реакціями, що відбуваються в композиційних насичуючих середовищах? Як необхідно регулювати кількість компонентів реакційної шихти, склад та щільності суміші, температури процесу та вмісту у суміші різного роду легуючих елементів, газотранспортних агентів?

4. При дослідженні карбідних фаз потрібно було б більш чітко описати, які структурні зміни протікають в процесі дифузії.

5. Не наведено даних про наявність алюмінію в структурі карбідної фази $(Fe, Cr, Al)_{23}C_6$, оскільки, відповідно відомим дослідженням, в такій карбідній фазі алюміній розподілений нерівномірно і знаходиться всередині неї у вигляді ізолюваних включень Al_2O_3 . Доцільно було б провести додаткові дослідження цього питання (наприклад, локальним рентгеноспектральним аналізом і SEM дослідженням з картуванням розподілу елементів).

6. Авторкою недостатньо уваги приділено експлуатаційним випробуванням деталей, що працюють в абразивних умовах гірничозбагачувальних комбінатів.

7. В роботі не вказано величину глибини шару зміцнювального покриття, що наноситься на форсунки бензольного скрубера та форсунки скрубера уловлювання сірководню (діаметром 4...6 мм) цеху уловлювання.

8. В тексті роботи не вказано, як враховується масштабний фактор та габарити оброблювальних деталей від маленьких форсунок до плит коксогасильного вагону.

9. У розділі 6.4 дуже докладно пояснена суть застосування вокселізації 3D мікроструктур відносно проведених авторкою досліджень, проте було б доцільно навести розшифрування воксельних кольорів в реальних кольорах відносно візуалізуємих елементів (наприклад, фазового складу).

Водночас, зазначені зауваження не стосуються основних положень, висновків і рекомендацій дисертації, не знижують наукової і практичної цінності виконаної роботи.

Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Проведений аналіз змісту і основних положень дисертації І.В. Кругляк показує, що робота являє собою завершене дослідження, зміст дисертації та загальні висновки відповідають меті та задачам дослідження. Зміст автореферату відповідає тексту, науковим і практичним положенням дисертаційної роботи. Наукова новизна, сформульовані висновки і рекомендації, що виносяться на захист, відповідають темі, меті та головному напрямку існуючої науково-прикладної проблеми. За темою, змістом та рівнем проведення теоретичних і експериментальних досліджень дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 - матеріалознавство. Робота Кругляк Ірини Василівни є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій вирішено важливу науково-прикладну проблему сучасного матеріалознавства.

Дисертаційна робота «Науково-технологічні засади формування зносокорозійностійких покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ» повністю відповідає вимогам пунктів 9,10,12,13 «Порядку присудження наукових ступенів» до докторських дисертацій, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. № 567, зі змінами, та Положенню про спецраду № 1059 від 14.09.2011, зі змінами, до докторських дисертацій, має бути оцінена позитивно, а її авторка, Кругляк Ірина Василівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01- матеріалознавство.

Офіційний опонент,
доцент кафедри технології матеріалів
Харківського національного технічного університету
сільського господарства імені Петра Василенка
доктор технічних наук, доцент

О.Ю. Ключко

