

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Кругляк Ірини Василівни «Науково-технологічні засади формування зносо- корозійностійких покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство»

### **1. Актуальність роботи**

Дана робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми, яка полягає в розвитку сучасної техніки характеризується значними вимогами до технологічного обладнання, тому виникає необхідність підвищення фізико-механічних і експлуатаційних властивостей матеріалів. Застосування покриттів, перш за все обумовлено необхідними експлуатаційними властивостями. Розробка науково-технологічних засад формування зносо-корозійностійких покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ на конструкційних і технологічних матеріалів, встановлення закономірностей зв'язку між показниками різних властивостей матеріалів, фізичні та фізико-хімічні явища в об'ємі і на поверхні деталей та вузлів в процесі експлуатації є **актуальною** проблемою наукових досліджень з матеріалознавства. Дослідження, які виконані в дисертації регламентовані паспортом спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство. Актуальність роботи підтверджується також тим, що данна дисертація є складовою частиною досліджень Дніпровського державного технічного університету за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт і госпдоговірних за підтримки підприємств ПрАТ «Запоріжжкокс» і ПрАТ «Южкокс».

### **2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи в повній мірі обґрунтовані. Експериментальні дослідження виконані на лабораторному і промисловому обладнанні. Аналітичні дослідження виконували на комп'ютерних моделях, побудованих в сучасних системах автоматизованих розрахунків. Результати експериментів, що були виконані в умовах діючого промислово підприємства, підтвердили висновки і рекомендації, що були дані на підставі аналізу результатів розроблених математичних моделей та лабораторних досліджень. Достовірність та обґрунтованість отриманих в роботі експериментальних даних і сформульованих на цій підставі наукових положень і висновків забезпечені використанням добре апробованих сучасних методів дослідження, зокрема мікрорентгеноспектрального, світлової та електронної мікроскопії, механічних випробувань

з застосуванням сертифікованого дослідницького обладнання та чітким трактуванням отриманих результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням.

## **2. Наукова новизна отриманих результатів**

Результати дисертаційної роботи є теоретичним узагальненням нових наукових підходів до вирішення наукової проблеми, що полягає у розвитку і впровадженні теоретичних, методичних і технологічних основ керування процесами структуроутворення при дифузійному насиченні конструкційних матеріалів з використанням термо-хімічного синтезу елементів.. До найбільш важливих наукових положень, отриманих автором дисертації слід віднести наступні:

1) Вперше вирішена сполучена нелінійна двомірна задача теорії ECD, яка включає рівняння теплопереносу, кінетики реакції та задачу теорії дифузії в нестационарному тепловому полі. Розраховані температурні поля при насиченні в композиційному насичуючому середовищі дозволили встановити дві зони: зону прогрівання та зону теплового самозаймання.

2) Розроблено фізико-хімічні моделі формування захисних покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ (КНС) і запропоновано їх раціональні склади для отримання покриттів різних функціональних груп. Проведені розрахунки та їх аналіз дозволили спрогнозувати механізм отримання захисних дифузійних покриттів і склад КНС.

3) Вперше встановлено термокінетичні закономірності температури самозаймання (650...770 °C) і максимальної температури (940...1300 °C) від вмісту енергетичного компоненту дифузії при формуванні дифузійних шарів. Отримані математичні залежності дають змогу прогнозувати товщину захисних покриттів на конструкційних матеріалах при використанні порошкових.

4) Отримано нові експериментальні дані та встановлено закономірності впливу складу композиційних насичуючих середовищ на експлуатаційні властивості дифузійних шарів, що дає можливість помітно збільшити зносостійкість, корозійну стійкість та жаростійкість конструкційних матеріалів у порівнянні з покриттями, отриманими в ізотермічних умовах.

5) Встановлені закономірності впливу вмісту енергетичного компоненту дифузії і оксидів насичуючих металів на прояв ефекту вторинного підйому температури, що супроводжується відновленням оксидів ванадію, титану, молібдену, бору і вольфраму та різко змінює термокінетичні характеристики процесу насичення. Показано, що зі збільшенням кількості інертної домішки настає виродження теплової хвилі.

6) 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.

#### **4. Практичне значення отриманих результатів.**

Отримані в дисертаційній роботі результати відзначаються значною практичною цінністю. При особистій участі автора 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 та впроваджено технологію отримання захисних шарів з використанням композиційних насичуючих середовищ. Здійснено промислову апробацію технології отримання захисних шарів з використанням КНС на ПрАТ «Южжокс», «Полтавському ГЗК», ТОВ «Придніпровський механічний завод» і ТОВ «Верхньодніпровський авторемонтний завод» з очікуваним річним економічним ефектом від впровадження нових технологій 2 060 000 грн. Нові композиційні насичуючі середовища захищені 4 патентами України. Одержані результати досліджень 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») з навчальних дисциплін «Поверхнєве зміцнення захисними покриттями», «Методи експериментальних досліджень, аналіз та презентація результатів».

#### **5. Загальна характеристика роботи**

Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел і 10 додатків. Повний обсяг роботи складає 457 сторінок, у тому числі основного тексту 307 сторінок. Робота ілюстрована 187 рисунками, наведено 59 таблиць. Перелік використаних літературних джерел складається із 390 найменувань на 40 сторінках.

Зміст автореферату відповідає основним результатам, положенням й підсумковим висновкам, що наведені в дисертаційній роботі. Обсяг та стиль викладення матеріалу, поданого в авторефераті, повністю відображають зміст дисертації. Дисертація має чітку загальну структуру, логічно побудована і являє собою комплексну роботу, яка містить дослідження та аналіз впливу різних факторів на структуроутворення захисних покриттів, теоретичні і експериментальні дослідження процесів і засад формування та зміни їх структури до розробки раціональних композиційних насичувальних середовищ технологічних процесів формування захисних шарів та результатів їх промислової апробації

і впровадження.

**У вступі** обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, відображені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

**У першому розділі** «Сучасний стан досліджень та перспективи розвитку технологій отримання дифузійних покриттів» розглянуто процеси формування дифузійних шарів на конструкційних матеріалах, працюючих в агресивних середовищах. Існуючі уявлення щодо формування дифузійних шарів в процесі обробки з використанням порошкової суміші при стаціонарних температурних умовах не дають змоги отримувати захисні шари з підвищеними експлуатаційними властивостями. Встановлення вплив легуючих елементів та технологічних умов обробки на процеси формування та отримання фазових структур що забезпечують підвищення експлуатаційної стійкості деталей та зменшення їх собівартості. Аналіз процесу формування зміцнюючих фаз засвідчує що найбільш міцними є фази, які мають карбідну або інтерметалідну основу. Отже, дослідження процесів формування зміцнюючих фаз, під час структуроутворення дифузійних шарів дає змогу сформувати нові матеріали шляхом поліпшення складу порошкових шихт з використанням композиційних насичуючих середовищах. Це дає можливість розширити сферу застосування експлуатаційних деталей з покриттями для багатьох галузей України. В результаті аналізу літературних джерел сформульовано мета та завдання дослідження, наукова новизна та висновки.

**У другому розділі** «Матеріали та методики експериментальних досліджень» наведено хімічний склад досліджуваних конструкційних матеріалів, методики оцінювання розподілу елементів, твердості та визначення корозійної стійкості, зносостійкості, жаростійкості, а також методи математичної статистики і планування експерименту та термодинамічне моделювання газової фази, яка формується при використанні насичуючого середовища. Використання сучасних методів і обладнання для дослідження дало змогу отримати достовірні данні щодо експлуатаційних властивостей дифузійних шарів, отриманих з використанням композиційних насичуючих середовищ.

**Третій розділ** «Термодинамічне моделювання насичуючого середовища при формуванні дифузійних покриттів» присвячено розвитку знання про фізико-хімічні основи формування захисних покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ. Проведено термодинамічний аналіз хімічних реакцій, які проходять при формуванні дифузійних шарів. Доказано, що в діапазоні температур 750–1450 К при молібденуванні газоподібні продукти, взаємодіють з елементами порошкової системи (Al, Mo, Cr) і переводяться в газову фазу, яка складається з CrH, CrOH, CrCl, CrCl<sub>2</sub>, CrCl<sub>3</sub>, CrOH, CrOCl<sub>2</sub>, CrI, CrI<sub>2</sub>, CrI<sub>3</sub>, MoCl, MoCl<sub>2</sub>, MoCl<sub>3</sub>, MoCl<sub>4</sub>, MoOCl, MoOCl<sub>2</sub>, MoI, MoI<sub>2</sub>, MoI<sub>3</sub>, MoI<sub>4</sub>. В цьому

діапазоні температур присутні і конденсовані сполуки:  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{c})$ ,  $\text{AlN}(\text{c})$ ,  $\text{Fe}(\text{c})$ ,  $\text{Cr}(\text{c})$ ,  $\text{CrCl}_2(\text{c})$ ,  $\text{CrI}_2(\text{c})$ ,  $\text{Mo}(\text{c})$ ,  $\text{Cr}_2\text{N}(\text{c})$ . В діапазоні температур 700–1600 К при вольфрамунанні газоподібні продукти, взаємодіють з елементами порошкової системи (Al, W, Cr) і переводяться в газову фазу, яка складається з  $\text{AlF}$ ,  $\text{AlF}_2$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{F}_6$ ,  $\text{AlOF}$ ,  $\text{AlOF}_2$ ,  $\text{AlI}$ ,  $\text{AlI}_2$ ,  $\text{AlI}_3$ ,  $\text{CrF}$ ,  $\text{CrF}_2$ ,  $\text{CrF}_3$ ,  $\text{CrF}_4$ ,  $\text{CrOF}$ ,  $\text{CrO}_2\text{F}$ ,  $\text{CrOF}_2$ ,  $\text{CrO}_2\text{F}_2$ ,  $\text{CrI}$ ,  $\text{CrI}_2$ ,  $\text{CrI}_3$ ,  $\text{WF}_2$ ,  $\text{WF}_3$ ,  $\text{WF}_4$ ,  $\text{WOF}$ ,  $\text{WO}_2\text{F}$ ,  $\text{WOF}_2$ ,  $\text{WOF}_3$ ,  $\text{WI}_2$ ,  $\text{WI}_3$ ,  $\text{WI}_4$ . В цьому діапазоні температур присутні і конденсовані сполуки:  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{c})$ ,  $\text{AlF}_3(\text{c})$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{c})$ ,  $\text{W}(\text{c})$ ,  $\text{WO}_2(\text{c})$ . Результати розрахунків термодинамічних властивостей дозволило кількісно оцінити парціальний тиск основного транспортного агента над насичуючою поверхнею. Встановлено, що для систем тих, що містять бор обраний фторидний активатор, що забезпечує найбільш сприятливі умови перенесення бору та легуючих елементів, а для систем, що містять ванадій, вольфрам, молібден – хлоридний активатор, в системах, що містять хром, алюміній – йодидний активатор, що забезпечує найбільш сприятливі умови його перенесення. В результаті термодинамічного розрахунку рівноважного складу продуктів з використанням композиційних насичуючих середовищ визначено кінетичні схеми хімічних перетворень в досліджуваних системах: 1. Екзотермічна реакція (ECD); 2. Реакції розпаду газотранспортного носія; 3. Хімічні транспортні реакції; 4. Реакції обміну з конструкційним матеріалом

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–B–V–Al–Ti–W , що корелює зі значеннями температури самозаймання. Проведені розрахунки та їх аналіз дозволили спрогнозувати механізм отримання захисних дифузійних покриттів та склад композиційних насичуючих середовищ.

**У четвертому розділі** «Математичне моделювання отримання дифузійних покриттів з використанням композиційних насичувальних середовищ» вирішена сполучена нелінійна двомірна задача теорії ECD. Розраховані температурні поля при насиченні в композиційному насичуючому середовищі дозволили встановити дві зони: зони прогрівання та зону теплового самозаймання.

Визначено, що стадія самозаймання в процесі нагрівання має набагато меншу тривалість. Тому на першій стадії речовина практично не розкладається, а на другій стадії реакція має нульовий порядок. В результаті теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень встановлено, що товщина захисного шару на технічному залізі та сталі 45 для КНС №1 у 1,16 ... 1,23 рази, а для КНС №2 у 1,14 ... 1,22 рази перевищує розрахункову величину. Цю розбіжність можна пояснити тим, що сталь представляє залізо з кількістю домішок і кількістю дефектів кристалічної будови, що значно перевищують ці значення у

порівнянні з чистим залізом. Отримано залежності приведені концентрації насичуючого елемента, від безрозмірної координати  $s(y)$  для трьох перерізів. 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. Цю розбіжність можна пояснити тим, що реальні сталі мають полікристалічну будову, а дифузія по міжкристалітним межах значно перевищує дифузію по тілу кристала. Площини температурного поля збільшується в залежності від температури самозаймання та максимальної температури процесу. Ряд зростання температурного поля в залежності від насичуючого елемента наступний: титанування – ванадіювання – вольфрамівання – алітування – борування – молібденування. На загальну картину найбільший вплив мають максимальна температура (1130 °C–1150 °C–1150 °C–1170 °C–1200 °C–1220 °C) і швидкість розповсюдження хвилі самозаймання.

**П'ятий розділ** «*Моделювання формування функціональних покриттів на конструкційних матеріалах та розробка зносо-корозійностійких компо-зіційних насичуючих середовищ*» присвячено розробці моделі утворення дифузійних шарів, на підставі розрахунку адіабатичних температур шихти та вирішення рівняння теплового балансу. Виконані дослідження дозволили встановити, що при насиченні в КНС №1: максимальна температура при алітуванні складає 1103 К, концентрація кінцевого продукту 66%; максимальна температура при ванадіюванні складає 1388 К, концентрація кінцевого продукту 55%; максимальна температура при титануванні складає 1303 К, концентрація кінцевого продукту 61%; максимальна температура при молібденуванні складає 1228 К, концентрація кінцевого продукту 46%; максимальна температура при боруванні складає 1138 К, концентрація кінцевого продукту 66%; максимальна температура при вольфраміванні складає 1213 К, концентрація кінцевого продукту 35%. Швидкість поширення хвилі горіння змінюється від 2,7 до  $8,6 \cdot 10^{-2}$  м/с.

Виконані дослідження дозволили встановити, що при насиченні в КНС №2 швидкість поширення хвилі горіння  $3,6...15,4 \cdot 10^{-2}$  м/с. Доказано, що при відновленні оксидів, тепловий ефект реакції для КНС становить 227...605 кДж/моль  $O_2$ . Проведено розрахунок адіабатичних температур для різних елементів в припущенні адіабатичності процесу для випадку повного перетворення реагентів. Розроблено фізико-хімічні моделі формування захисних покриттів з використанням КНС та отримано їх раціональні склади.

**Шостий розділ** «*Структура і кінетика формування захисних покриттів та прогнозування їх експлуатаційних властивостей*» розглядає вплив кількості газотранспортного агента на властивості захисних покриттів. Отримані рівняння, що характеризують залежність товщини дифузійних шарів від технологічних характеристик

процесу. Запропоновано принципово новий підхід для оцінки пористості покриттів на основі поєднань мікроструктурного аналізу і абсолютного значення приведених воксельних кольорів. Розроблено нові підходи до теоретичної оцінки формування структури захисних покриттів, що включають комплексну тримірну реконструкцію мікроструктури дифузійного шару шляхом підсумовування двомірних даних 2D зображення мікроструктури, вокселізації 3D мікроструктури при оцінці пористості, встановлення порогових значень підсилення різниці фазового складу дифузійного шару, 3D структуру оцінки карбідних фаз при ідентифікуванні мікроструктури, 3D зображення характеру розподілу насичуючих елементів, що дозволяє прогнозувати експлуатаційні властивості конструкційних матеріалів із захисними покриттями.

**Сьомий розділ** *«Експлуатаційні характеристики зміцнених конструкційних матеріалів в композиційних насичуючих середовищах та їх промислова апробація»* присвячений розробці нових комплексно легованих дифузійних шарів для експлуатації в агресивних умовах коксохімічного виробництва. Отримано результати щодо показників жаростійкості, зносостійкості, корозійної стійкості, величини залишкових напружень в покриттях і їх мікротвердість. Запропоновані склади порошкових композиційних насичуючих середовищ, які дають змогу зменшити собівартість покриттів і підвищити експлуатаційну стійкість деталей із конструкційних матеріалів. Проведено промислову апробацію на коксохімічних і машинобудівних підприємствах України.

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

Матеріали дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в фахових виданнях. Проведено апробацію та обговорення матеріалів дисертації на міжнародних та закордонних конференціях. Основний зміст дисертації достатньо повно представлений автором в 74 наукових працях: з них 3 монографії, 34 статті у наукових фахових виданнях України, 15 статей у закордонних виданнях, що індексуються науко-метричною базою даних SCOPUS, 1 стаття у закордонному науково-технічному виданні, 17 публікацій у матеріалах і працях конференцій, отримано 4 патенти України. Індекс Гірша (h-index)  $h=5$  SCOPUS. . Всі надруковані праці за темою дисертації виконані автором особисто та у співавторстві. Публікації достатньо повно відображають зміст роботи. Кількість і склад публікацій відповідає вимогам Державної атестаційної комісії МОН України, що пред'являються до дисертаційних робіт.

## 7. Основні зауваження по дисертаційній роботі

Відзначаючи досить пристойний рівень роботи загалом, високе наукове та прикладне значення результатів, необхідно, в той же час, відзначити і деякі **недоліки** рецензованої роботи, а саме:

1) При описі методики побудови математичної моделі для отримання раціонального складу композиційних насичуючих середовищ дисертантка застосувала трифакторний, трирівневий, несиметричний план другого порядку з матричним підходом до визначення коефіцієнтів регресії (стр. 105). Однак, відсутність в даному розділі позначень щодо відповідності складових рівняння (2.1) конкретним фізичним параметрам обмежує можливість оцінити адекватність запропонованої моделі.

2) Побудова більшості розрахункових моделей, наведених в дисертаційній роботі, базувалася на результатах вивчення екзотермічних реакцій в об'ємі порошкової шихти. При цьому відомо, що проходження екзотермічних реакцій, як правило, пов'язано з формуванням значної вторинної поруватості в об'ємі реагуючого матеріалу. Однак, наведені теоретичні моделі не передбачають оцінки величини поруватості в отриманих покриттях.

3) Для оцінки адекватності розроблених моделей дисертантка наводить, зокрема, порівняльні дані щодо розрахункових та експериментальних значень товщини покриттів, отриманих за різних температурних умов процесу. В той же час, для деяких складів покриттів в процесі реакції відбувається активна взаємодія матеріалу покриття та підложки, що супроводжується формуванням помітної за розмірами перехідної зони. Вказана теза підтверджується, зокрема, і даними самої дисертантки, яка відзначає, що “досліджуючи зміни концентрації розподілу компонентів легованих алітованих покриттів, встановлено, що легуючі елементи (рис. 6.15–6.16) досить добре дифундують вглиб сталі 45 на глибину до 130 мкм”, що співрозмірно з товщиною покриття. Однак, з тексту роботи незрозуміло, яким чином враховувалася товщина вказаної перехідної зони при визначення загальної товщини покриття.

4) В якості складових ряду композиційних насичуючих середовищ дисертанткашироко застосовує порошки алюмінію (як компонент для енергетичної складової та джерело алюмінію в покритті), та оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  (як баластний матеріал, що дозволяє корегувати температуру процесу) (стр. 103). Слід відзначити, також, що порошок алюмінію, крім забезпечення функції компоненту енергетичної складової, є і активним відновлюючим елементом, який в процесі екзотермічної реакції може бути джерелом для формування додаткового вмісту конденсованих фаз оксиду алюмінію. Однак, в дисертаційній роботі, на мій погляд, мало уваги було приділено питанням оцінки структурного стану вказаного оксиду в покритті та його впливу на основні фізико-механічні та функціональні характеристики отриманих покриттів.

5) При розробці та вивченні зносостійких покриттів (підрозділ 5.3) дисертанткою як параметр оптимізації застосовувалися деякі безрозмірні показники зносостійкості  $I_i$ , однак, в



тексті дисертації відсутні дані, щодо абсолютних (а не відносних, безрозмірних) характеристик зносостійкості, що значною мірою знецінює наведені результати. Відмічене зауваження асоціюється, також, із оцінкою результатів експериментального дослідження зносостійкості отриманих покриттів (рис. 7.19, 7.20), що, на жаль не супроводжується, прямим порівнянням результатів експериментальних та модельних даних. Те ж зауваження можна віднести і до даних щодо для корозійної стійкості покриттів (рис. 7.34; 7.35; табл. 7.5).

6) При описі методики дослідження залишкових напружень в покритті, дисертантка вказує, що “контроль залишкових напружень і область їх залягання визначались методом М.М. Давиденкова, шляхом вимірювання величини прогину зразків–свідків і вимірювання деформацій при безперервному травленні на модернізованій установці «Піон–2» згідно ГОСТ Р57172-2016” (стр. 109). Бажано було б більш детально зупинитись на методиці визначення та розрахунку залишкових напружень.

7) За результатами дослідження кінетичних залежностей впливу часу витримки та температури процесу на товщину захисного покриття, дисертантка відзначає, що “часова залежність близька до параболічної, а температурна до експоненціальної” (стр. 306). Однак, якщо відносно часової залежності такий висновок є абсолютно очевидним, то відносно температурної залежності її віднесення до експоненціальної видається дещо непереконливим, так як і за зовнішнім видом кривої вказаної залежності вона швидше відвідає лінійному характеру (рис. 6.6), так і вкрай низькі значення коефіцієнту експоненційності (на рівні тисячних долей) в рівняннях, які описують цю криву (стр. 249) вказують на вкрай незначний рівень експоненційної складової.

8) На мій погляд, за наявності величезного об’єму вкрай цікавих результатів з розробки моделей процесів нанесення покриттів та моделювання з їх використанням, в роботі недостатня увага приділена питанням експериментального вивчення особливостей структуроутворення, що відбуваються в процесі дифузії при нестационарних температурних умовах отримання покриттів з використанням композиційних насичувальних середовищ.

9) До недоліків рецензованої роботи слід віднести незадовільну якість значної кількості графічного матеріалу (головним чином - за розмірами рисунків). Так, формат рисунків (3.1)-(3.35), 6.1; 6.13, тощо, обмежує можливість аналізу наведених на рисунках результатів.

Наведені зауваження, втім, не знижують наукової та практичної цінності виконаної роботи та не впливають на загальну вкрай позитивну оцінку отриманих результатів.

## **8. Висновок про відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника»**

На підставі вищенаведеного можна стверджувати, що дисертаційна робота І.В. Кругляк «Науково-технологічні засади формування зносо-корозійностійких покриттів з використанням композиційних насичуючих середовищ» є закінченою науковою працею, в

якому вирішена важлива науково-технічна проблема підвищення зносо- корозійної стійкості конструкційних матеріалів на основі розвитку наукових положень про закономірності впливу складу і структурного стану захисних дифузійних шарів на комплекс їх службових та експлуатаційних властивостей.

Дисертація має наукову новизну і вагому практичну цінність. Зміст дисертації відповідає формулі та напрямам досліджень паспорта спеціальності 05.02.01 — «Матеріалознавство». Автореферат повною мірою відображає зміст дисертації.

На підставі вищенаведеного вважаю, що рецензована дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 (з відповідними змінами й доповненнями), а авторка роботи, Кругляк Ірина Василівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - «Матеріалознавство».

Офіційний опонент:

Заступник директора Інституту проблем  
матеріалознавства ім. І.М. Францевича

НАН України з наукової роботи,  
доктор технічних наук, професор



Г.А. Баглюк