

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Клочко Оксани Юріївни**
«Теоретичне та експериментальне моделювання і прогнозування структуроутворення та властивостей хромовмісних сплавів та покриттів», яка подається до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство Технічні науки (13 Механічна інженерія)

Актуальність обраної теми дисертації

Дисертаційна робота Клочко Оксани Юріївни присвячена вирішенню важливої науково-технічної проблеми підвищення експлуатаційної стійкості виробів завдяки використанню процесів моделювання та прогнозування структуроутворення, властивостей у хромовмісних сплавах та покриттях.

Дисертаційне дослідження є складовою частиною держбюджетних тем (ДР0117U003018), (ДРО10911000362) та (ДР0116U005802), що виконувались відповідно до плану наукових досліджень Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

Науково-дослідні роботи, що виконувались у межах вказаних наукових тем, є свідченням затребуваності науково-дослідних робіт з даного напрямку, і, відповідно, вказують на актуальність дисертаційного дослідження.

Дисертантка Клочко О. Ю. обґрунтувала, що вирішення задач підвищення експлуатаційної стійкості виробів, що працюють в напружених умовах, повинно здійснюватися за основними напрямками розробок, які включають вдосконалення існуючих і створення сучасних інноваційних технологічних процесів; оптимізацію хімічного складу застосовуваних матеріалів з розробкою нових; ефективні способи термічної обробки; відновлення робочої поверхні.

Вирішення вказаних завдань вимагає розробки надійних методів контролю якості та основних оціночних критеріїв, що включають теоретичні та експериментальні оцінки, за допомогою яких можливо коригувати структуроутворення і властивостями.

Авторка дисертації узагальнила, що вирішення поставленої проблеми можливо досягти за допомогою нових напрямів, спрямованих на виявлення факторів і закономірностей, що визначають підвищення рівня властивостей, шляхом створення необхідних умов і параметрів виробництва. Такий напрям досліджень може бути реалізовано на основі побудови математичних моделей з оцінкою структурного стану для різних матеріалів.

Тому дисертаційна робота, яка спрямована на підвищення експлуатаційної стійкості виробів з хромовмісних сплавів та покриттів, що працюють в складних умовах, шляхом теоретичного та експериментального моделювання і прогнозування структуроутворення та властивостей може бути є важливою і актуальною.

Наведені обставини стали підґрунтям для формулювання дисертанткою Клочко О. Ю. актуальної науково-технічної проблеми, вирішення якої відкриває шляхи одержання високоефективних хромовмісних сплавів і покриттів.

Представлені факти характеризують тему рецензованої дисертації як актуальну, та підтверджують її відповідність вимогам за ознакою «актуальність обраної теми дисертації».

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

Обґрунтованість наукових положень дисертаційного дослідження Ключко О. Ю., їх переконливість, ґрунтовність висновків та рекомендацій, виконаних за результатами роботи, обумовлені використанням для їх одержання великої кількості різнопланових методів досліджень та надсучасного експериментального обладнання. Серед них використовувався системний підхід до теоретичних та експериментальних напрямів досліджень на основі аналізу й узагальнення виконаних розробок з використання матеріалів і технологічних процесів, спрямованих на підвищення експлуатаційної стійкості виробів із хромовмісних сплавів та покриттів, що працюють в складних умовах тертя і зношування, для сучасної техніки машинобудівної галузі.

Для цього згідно представлених нових науково-обґрунтованих теоретичних і експериментальних результатів моделювання і прогнозування структуроутворення та властивостей, авторкою розроблені та узагальнені ефективні параметри кристалізації та термообробки масивних двошарових прокатних валків; зміцнення робочої поверхні на деталях малого розміру (паливної апаратури машин). Для оцінки структурного стану виробів використовували нові розроблені методики досліджень з використанням оптико-математичного опису фазового складу, а також процесів дифузії, щільності фрагментів, що формуються, дисипації енергії.

Значну частину роботи авторка присвятила теоретичним та експериментальним дослідженням з оцінкою впливу різних факторів виробництва на структуроутворення та властивості хромовмісних сплавів та покриттів. Це полягало в поєднанні сучасних методів дослідження з новими розробленими методиками оптико-математичного оцінювання фазового складу, що описують процеси дифузії, щільності фрагментів, які базуються на основних положеннях зміни енергетичного стану системи.

Результати теоретичного та експериментального моделювання і прогнозування дозволили дисертантці Ключко О. Ю. розробити нові підходи до оцінки структуроутворення хромовмісних сплавів і покриттів, що включають визначення поєднань фаз (умовних кольорів), їх мінливості і абсолютних значень лапласіана матриці (фрагмента зображення), через які досліджені неоднорідність сформованих фаз, в тому числі, і в області дислокацій, їх дисперсність, структурну анізотропію, що утворилась при виготовленні та експлуатації виробів. Оптико-математичним методом через зміну енергетичного стану системи описано процеси дифузії при розпаді аустеніту і розвитку процесів локальної деформації.

За допомогою розроблених підходів авторкою встановлені чинники і оцінено характер деградації карбідної фази в валковому хромовмісному чавуні. Моделюванням прогнозовано структуроутворення хромовмісних сплавів за допомогою вперше визначених параметрів, що мають найбільший вплив на його зміну.

Запропонований дисертанткою Ключко О. Ю. комплексний підхід оцінки структуроутворення дозволив розробити методику визначення оптимальних параметрів і режимів термічної обробки масивних прокатних валків із хромовмісного сплаву математичним моделюванням за допомогою критеріїв, що відображають його структурний і енергетичний стан та визначають зв'язок із споживчими властивостями; а також розробити нову технологію зміцнення робочої поверхні хромовмісним покриттям модифікованим ультрадисперсними частинками і дослідити структурну неоднорідність покриття впродовж всього циклу використання деталі.

Теоретичні дослідження авторка дисертації виконувала на основі фундаментальних положень матеріалознавства, фізичного металознавства, термічної обробки металів, теорії дислокацій та математичного моделювання. Лабораторні та промислові дослідження виконано на сучасному устаткуванні та вимірювальній апаратурі. В роботі використовувались сучасні методи досліджень: оптичну та електронну мікроскопію,

рентгеноструктурний і мікрорентгеноспектральний аналізи, вимірювання твердості, мікротвердості та рівня напружень, коерцитивної сили.

Достовірність одержаних у дисертаційній роботі результатів, положень, висновків і рекомендацій підтверджено співпаданням результатів математичного моделювання та експериментів, отриманих різними експериментальними методами, застосуванням сучасного високоточного експериментального обладнання, а також апробацією результатів досліджень в умовах виробництва, про що свідчить затверджена технічна документація, яку наведено у «Додатках» до дисертації.

Результати всебічних досліджень, що отримані авторкою з використанням перелічених методів, надали надійну і взаємоузгоджену інформацію про особливості структуроутворення та комплекс властивостей вискоелективних хромовмісних сплавів та покриттів, одержаних за розробленими технологіями, відпрацьованими в процесі виконання дисертації.

Обґрунтовані положення і висновки рецензованої роботи не вступають у протиріччя з фундаментальними основами матеріалознавства, металознавства та термічної обробки металів.

Вирішення поставленої науково-технічної проблеми дозволило Клочко О. Ю. одержати низку нових результатів, що являть собою наукову новизну дисертації. Вважаю за необхідне наголосити на найважливіших положеннях:

Вперше:

- запропоновано загальний комплексний підхід оцінки впливу різних факторів виробництва на структуроутворення та властивості хромовмісних сплавів та покриттів, який полягає в поєднанні сучасних методів дослідження з новими розробленими методиками оптико-математичного оцінювання фазового складу, що описують процеси дифузії, щільності фрагментів, та вони базуються на основних положеннях зміни енергетичного стану системи;
- розроблено нові підходи до теоретичної оцінки структуроутворення хромовмісних сплавів і покриттів, що включають визначення поєднань фаз (умовних кольорів) і абсолютних значень лапласіана матриці (фрагмента зображення), через які досліджені неоднорідність сформованих фаз і їх дисперсність, структурна анізотропія, що утворилась при виготовленні та експлуатації виробів;
- запропоновано принципово новий підхід для опису ступеня неоднорідності сформованої структури з використанням мінливості фаз (умовних кольорів) та їх поєднань, що оцінює мікроліквіацію хімічних компонентів, в тому числі, і в області дефектів кристалічної будови – дислокацій;
- оптико-математичним методом через зміну енергетичного стану системи описано процеси дифузії при розпаді аустеніту і розвитку процесів локальної деформації. Показано, що інтенсифікація дифузійних процесів супроводжується зміною ступеня дисперсності структури, підвищенням щільності дислокацій, виділенням окремих фаз фериту, насичених вуглецем, а також бейніту, карбідів нестехіометричного складу, а також їх взаємозв'язком;
- встановлені чинники і оцінено характер деградації карбідної фази в валковому хромовмісному чавуні. Показано, що таку деградацію визначають процеси, пов'язані з формуванням дислокаційної структури і дифузії, при яких відбувається поява нових типів карбідних фаз нестехіометричного складу, квазікристалічного графіту, а також фериту та бейніту. Виявлено типи поєднань таких з'єднань;
- для прогнозування структуроутворення розроблено новий підхід до моделювання за допомогою вперше визначених параметрів, що мають найбільший вплив на його зміну. Цей підхід ґрунтується на оцінках мінливості фаз (згідно умовних кольорів), отриманні гістограм їх розподілу та дисипації енергії в результаті розвитку процесів дифузії і зміни щільності аналізованих фрагментів;

- розроблено методику визначення оптимальних параметрів і режимів термічної обробки масивних прокатних валків із хромовмісного сплаву математичним моделюванням за допомогою критеріїв, які найбільш повно відображають його структурний і енергетичний стан та визначають зв'язок з твердістю і коерцитивною силою;
- проведена теоретична оцінка структурної неоднорідності хромовмісного зміцнюючого покриття, модифікованого наноалмазами за розробленою технологією, з дослідженням зміни абсолютного значення дивергенції, яке характеризує рельєф поверхні (створення зон стиснення і скидання), що формуються на поверхні тертя деталей при експлуатації.

Удосконалено:

- на основі теоретичного та експериментального моделювання і прогнозування структуроутворення та властивостей хромовмісних сплавів та покриттів на основі рівнянь Нав'є-Стокса для опису процесів динаміки структуроутворення при аналізі металографічних структур розроблено метод експрес оцінки кількісного та якісного складу фаз і їх розподілу;
- на основі комплексних досліджень отримані підходи, що дозволяють проводити найбільш повну оцінку структурного стану системи, яка характеризується локалізацією деформаційних станів і зміною внутрішньої енергії дислокаційної структури, її щільності, що відображає фазову, локальну неоднорідність.

Отримав подальший розвиток науково обґрунтований комплексний підхід, з використанням теоретичних та експериментальних результатів, що, завдяки використанню процесів моделювання та прогнозування структуроутворення і властивостей, дозволило отримати та узагальнити шляхи підвищення експлуатаційних властивостей виробів з використанням хромовмісних сплавів і покриттів.

З моєї точки зору, наведені наукові результати позитивно характеризують напрацювання дисертантки Ключко О. Ю. і свідчать про вагомість одержаних результатів та узагальнень, що дозволило авторці розробити склад та встановити оптимальні технологічні режими термічної обробки хромовмісних сплавів і покриттів.

Значимість результатів дисертаційної роботи для науки і практики

Наукова та практична значимість дисертації Ключко О. Ю. полягає в тому, що авторка на основі теоретичних та експериментальних досліджень здійснила розробку методів моделювання виробництва хромовмісних сплавів і покриттів та встановила внесок різних параметрів, що описують зв'язок структуроутворення зі споживчими властивостями виробів. Отримані дані дозволили авторці з високою точністю оцінювати і прогнозувати вплив різних чинників на рівень властивостей робочого шару і експлуатаційну стійкість виробу в цілому, корегувати структуроутворенням і технологічним процесом виготовлення виробів.

На основі комплексних досліджень дисертанткою Ключко О. Ю. створені сучасні прогресивні технології, що дозволили забезпечити підвищення експлуатаційних властивостей масивних виробів з хромовмісних сплавів, які працюють в складних умовах зношування та тертя. Окрім цього узагальнення результатів, отриманих при застосуванні електролітичного хромування покриттів з модифікуванням ультрадисперсними алмазами для зміцнення робочої поверхні на деталях малого розміру (паливної апаратури машин), дало змогу розробити спеціальну технологію його нанесення. Це змінює умови кристалізації, в наслідок чого усувається газовиділення, істотно зменшується неоднорідність і підвищується твердість (знижується коефіцієнт тертя) такого покриття.

Одержані авторкою результати прогнозувати і обґрунтувати параметри технологічного виробництва та відновлення виробів при експлуатації.

Вважаю за необхідне зазначити, що важливим практичним напрацюванням дисертанта є результати впровадження розробок у виробництво. Реальний економічний ефект від впровадження нових розробок, захищених патентами, на ТОВ «Дизельсервіс», м.Харків, складає 73,8 тис. грн при обсязі виробництва 57 одиниць, очікуваний

економічний ефект від впровадження нових технологій, захищених патентами, на вальцеливарних підприємствах складатиме 910 тис. грн. при обсязі виробництва 1300т. Окрім цього результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес: лекційних курсах для бакалаврів та магістрів за напрямками «Механічна інженерія», «Транспорт», «Аграрні науки та продовольство» (дисципліни «Матеріалознавство», «Технологія конструкційних матеріалів», «Новітні технології в сучасному машинобудуванні» та ін.).

Наведені вище факти переконливо свідчать про високу наукову та практичну значимість виконаного Ключко О. Ю. дисертаційного дослідження.

Мені видається, що різнобічні дослідження, наукові та практичні результати яких наведено у дисертації, відрізняються системністю, коректністю та обґрунтованістю накопиченого фактажу, який отримано із застосуванням сучасних методів теоретичних і експериментальних досліджень та обладнання, і підтверджених практичною апробацією в умовах промислового виробництва.

Повнота викладу основних результатів дисертації

Основні результати рецензованої дисертаційної роботи Ключко О. Ю. опубліковані у 59 наукових працях, у тому числі 12 статей у наукових фахових виданнях, що входять до Переліку МОН України; 13 статей у закордонних виданнях, з яких 7 статей, в журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus, Web of Science); 26 – в інших закордонних виданнях та України, у тому числі монографія і довідник; отримано 8 патентів України, 30 публікацій за матеріалами доповідей на міжнародних конференціях;

Загалом вимоги стосовно повноти публікацій та апробації результатів дисертації Ключко О. Ю. виконано у повному обсязі.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація Ключко О. Ю. складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 404 сторінки, у тому числі 9 додатків. Обсяг основного тексту дисертації становить 317 сторінок, 71 рисунок, 62 таблиці. Список використаних джерел нараховує 299 найменувань.

Вступ дисертації достатньо повно розкриває сутність та сучасний стан науково-технічної проблеми, аргументи, що зумовили її постановку; авторкою обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, наведено зв'язок роботи з науковою програмою, мету роботи, задачі, об'єкт, предмет і методи досліджень, сформульовано наукову новизну, визначено практичну значимість одержаних результатів, наведено особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень, публікації за темою дисертації та структуру роботи.

Перший розділ містить аналітичний огляд публікацій за напрямом дисертації, зокрема сучасні проблеми матеріалознавства, а також показано, що істотним недоліком у формуванні стабільної структури і експлуатаційних показників в хромовмісних сплавах є залежність їх властивостей і технологічних параметрів виробництва виробів від спадковості литого металу. Їх нестабільність призводить до кристалізації підвищеної частки залишкового аустеніту, локалізації деформацій в робочому шарі при експлуатації і його деградації, руйнування. Додаткове легування істотно не змінює долю залишкового аустеніту. У зв'язку з цим, як показала дисертантка Ключко О. Ю., важливим є розробка таких умов кристалізації і термообробки, які дозволяють мінімізувати частку такої фази і знизити її вплив на рівень напружень.

Дисертанткою Ключко О. Ю. узагальнено інформацію про вплив різних експлуатаційних факторів на структурні зміни і сформульовані вимоги до матеріалу хромовмісних покриттів і сплавів для виробів, що працюють в складних умовах тертя. Показано, що основними механізмами деградації структури є дислокаційний і дифузний процеси її формування.

Авторкою виявлено вкрай обмежену кількість даних щодо методики і результатів оцінки структурного стану хромовмісних сплавів і покриттів, які враховували б, крім фазового складу, анізотропію фаз і ступінь гетерогенності таких структур для надійного прогнозування змін їх стану, що формується в період усього життєвого циклу використання виробів.

Як завершення розділу 1 здобувачка Ключко О. Ю. формулює головний напрямок дисертаційних досліджень та шляхи вирішення поставлених завдань.

Мені видається, що огляд літературних вітчизняних і закордонних джерел та наступні узагальнення аналітичної інформації, що виконані шляхом критичного аналізу, дозволили здобувачеві Ключко О. Ю. переконливо обґрунтувати доцільність виконання досліджень з означеної теми, визначити мету і завдання роботи та окреслити шляхи їх реалізації.

Другий розділ дисертації присвячено методологічному обґрунтуванню та розробці нового підходу до підвищення експлуатаційної стійкості виробів у важконапружених умовах високих питомих тисків, термоциклювання і ступеня зношування робочої поверхні хромовмісних сплавів і покриттів, що включає теоретичні, експериментальні і практичні дослідження, які спрямовані на підвищення довговічності таких матеріалів за рахунок їх термообробки і зміцнення.

На основі досліджень дисертанткою Ключко О. Ю. було запропоновано загальний комплексний підхід оцінки впливу різних факторів виробництва на структуроутворення та властивості сплавів. Для цього використовувалась оптична і електронна мікроскопія, рентгеноструктурний і мікрорентгеноспектральний аналізи, оцінка твердості, мікротвердості та рівня напружень, згідно рівня коерцитивної сили. Для оцінки структурного стану виробів авторка використовувала нові розроблені методики досліджень з використанням оптико-математичного опису фазового складу, а також процесів впливу дифузії, щільності фрагментів, що формуються, дисипації енергії. Окрім цього велика увага приділялася оцінкам неоднорідності фаз, їх дисперсності, структурній анізотропії, а також спадкоємним властивостям металу виробів. Додатково дифузійні процеси при розпаді аустеніту та деформації зі створенням нових фаз та їх склад оцінювались експериментально та теоретично.

З моєї точки зору, даний розділ дисертації Ключко О. Ю. є надзвичайно значущим розділом, який розкриває обґрунтований напрям досліджень та методи вирішення задач, поставлених у роботі.

Вказане демонструє послідовний та системний підхід авторки до вирішення важливої науково-технічної проблеми, що поставлена у дисертації.

На мою думку, сформована дисертантом Ключко О. Ю. методика проведення всебічних досліджень, що викладена у розділі 2, забезпечила одержання достовірних та коректних результатів.

Вважаю, що загалом даний розділ дисертації Ключко О. Ю. свідчить про логічні та чіткі напрямки реалізації поставленої мети роботи, та підтверджує здатність авторки ставити і послідовно розв'язувати складні наукові завдання, застосовувати найсучасніші методики та обладнання, співставляти і аналізувати одержані різними методами результати, робити на їх основі коректні висновки, що демонструє системний підхід до вирішення складних задач.

У третьому розділі авторкою запропоновано нові підходи до теоретичної оцінки структуроутворення хромовмісних сплавів і покриттів на основі оптико-математичного аналізу металографічного зображення, які включають поєднання умовних кольорів (фаз) і абсолютних значень лапласіана матриці (відповідно фрагменту зображення). Процеси дифузії і деформації описували через зміну енергетичного стану системи, відповідно ступеню дисперсності структури. Така оцінка структуроутворення пройшла перевірку мінливості фаз при експериментальному проведенні температурної циклічної обробки в інтервалі температур магнітного перетворення карбідних фаз і показала достатній збіг

результатів. Оцінка функції потужності дисипації енергії дозволила прогнозувати формування нових фаз при такій обробці.

У даному розділі дисертації Ключко О. Ю. були встановлені чинники і виконана оцінка характеру деградації фази карбиду в валковому хромовмісному чавуні. Показано, що вона визначається процесами, пов'язаними з формуванням дислокаційної структури і дифузії, при яких відбувається поява карбідних фаз типу $Me_{23}C_6$ та Me_xC_y , а також квазікристалічний графіт, ферит і бейніт. Виявлено типи поєднань таких фаз, доля їх співвідношення, а також визначена ступінь нестабільності карбідної фази Me_7C_3 . Одержані результати дозволили авторці розробити рекомендації щодо підвищення її стабільності. Отримана інформація щодо чинників і характеру деградаційних процесів карбідної фази, які визначають загальну експлуатаційну стійкість прокатних валків, та це є ефективним для використання при розробках нових комплексних технологій їх виробництва, зі збереженням необхідного рівня твердості.

Вважаю за необхідне наголосити, що авторкою вперше отримані результати, які показують, що інтенсифікація дифузійних процесів в умовах локальних деформацій супроводжується зміною щільності дислокацій і створенням упорядкованої структури. Також встановлено, що локальні напруження, які формуються від ефекту магнітострикції, сприяють розпаду залишкового аустеніту і формуванню нових дисперсних фаз.

Мені видається, що наведені у даному розділі результати та зроблені висновки показують важливість отриманого фактажу і ґрунтовних висновків не тільки у науковому, але і у прикладному плані, коли стає можливим цілеспрямовано формувати структуру досліджених сплавів і покриттів та прогнозувати їх функціональні характеристики.

Четвертий розділ дисертації присвячено вирішенню проблеми прогнозування структуроутворення, для чого авторкою проведено визначення параметрів, що мають найбільший вплив на його зміну. Оцінки ґрунтувалися на розподілі фаз, отриманих гістограмах їх розподілу, оцінках дисипації енергії в результаті розвитку процесів дифузії і зміни щільності аналізованих фрагментів металографічного зображення. Для отримання достовірної оцінки при проведенні моделювання таких процесів, дисертанткою Ключко О. Ю. враховувались анізотропія структури і властивостей, а також локальна неоднорідність сформованих фаз, і визначались граничні умови за рівнянням Лапласа. Теоретичні та експериментальні дослідження підтвердили вплив використаних технологічних факторів на структуроутворення і твердість (основний нормований критерій відповідно до НТД) і показали ідентичність їх оцінки.

Важливим фактом є, що у розділі 4 при моделюванні локальної неоднорідності структурних складових здобувачкою Ключко О. Ю. рекомендовано використовувати комплексний параметр, який складається з упорядкованого набору параметрів, що визначають зміни енергетичного стану системи - функцій напружень і потужності дисипації енергії, а також детермінанта квадратної матриці, утвореної цими параметрами, обчислених на фрагменті металографічного зображення.

Представлений дисертанткою аналіз результатів показує, що цей розділ дисертації Ключко О. Ю. займає одну з ключових позицій з погляду не тільки наукової цінності доробку авторки, але і з точки зору рекомендацій виробникам та розробникам нових ефективних технологій.

У п'ятому розділі дисертанткою Ключко О. Ю. проведена перевірка щодо ефективності комплексного підходу для оцінки ступеня локальної неоднорідності, яка формується в різних фазах при розвитку напружень II роду, на основі використання розробленого оптико-математичного методу опису енергетичних параметрів структуроутворення. Наукові напрацювання базуються на виявленні, аналізі змін дислокаційної структури і дисперсності фаз.

Крім того, авторкою використовується функція потужності дисипації енергії, яка відображає процеси, що відбуваються при литті, пластичній деформації, термічній та радіаційно-термічній обробці.

Не менш важливим результатом є встановлення дисертанткою Ключко О. Ю. факту, що в процесі кристалізації масивних виливків з хромовмісних сплавів, при їх тривалому охолодженні і в залежності від параметрів технології виробництва, відзначається формування дефектів кристалічної будови, які, в залежності від виникаючих локальних деформацій, сприяють інтенсифікації дифузійних процесів.

Встановлений авторкою дисертації фактаж переконує у важливості отриманих результатів і висновків не тільки у науковому, але й у прикладному плані, що дозволяє позитивно охарактеризувати здобувачку Ключко О. Ю. як ретельного науковця, що чітко окреслює та успішно вирішує найскладніші наукові завдання і реалізує їх на практиці.

Шостий розділ дисертації присвячено розробці оптимальних параметрів і режимів термічної обробки двошарових прокатних валків з хромистого чавуну. Авторкою виявлено критерії, які найбільш повно відображають структурний і енергетичний стан системи і визначають зв'язок з твердістю і коерцитивною силою.

Далі у даному розділі дисертантка по дає опис аналізу, який проводився у 4 етапи, котрі відображали вплив різних чинників (теоретичних і експериментальних). Було встановлено чинники, що мають найбільший вплив на твердість: ступінь дисперсності фаз, що пов'язана зі спадковістю; неоднорідність структури за мінливістю умовних кольорів; функція потужності дисипації енергії та показник коерцитивної сили.

В результаті досліджень здобувачка Ключко О. Ю. встановила, що оптимальним режимом термічної обробки високохромистого чавуну є триступеневий відпал (350°C, 500°C, 500°C), при якому забезпечується твердість, яка відповідає вимогам НТД (63,4-69,2HS), зростання частки структур фериту, насичених вуглецем, та зменшення до 1.8% залишкового аустеніту.

При цьому отримані математичні моделі добре узгоджуються з результатами експериментів, що є підтвердженням достовірності отриманих даних.

У сьомому розділі дисертації представлена промислова апробація напрацьованих дисертантки Ключко О. Ю. зі створення нових технологічних процесів виробництва прокатних валків і покриттів із хромовмісних матеріалів. Розробки базуються на теоретичних і експериментальних оцінках процесів структуроутворення таких матеріалів при виробництві та експлуатації виробів, що дозволило обґрунтувати ефективність їх підвищеної та стабільної стійкості.

Позитивними виявилось застосування електролітичного хромування покриттів з модифікуванням дисперсними алмазами в машинобудуванні для деталей малого розміру на прикладі паливної апаратури машин, тоді, як застосування такого процесу для зміцнення робочої поверхні прокатних валків листових станів виявилось не ефективним у зв'язку з технічними можливостями реалізації такого процесу, а також через велику їх масу і вимоги по глибині зони зміцнення.

Фактичний економічний ефект від технологічних рішень здобувачки, захищених патентами України, щодо підвищення властивостей зміцнювальних покриттів при відновленні деталей в умовах ремонтного підприємства, склав 73,8 тис. грн при обсязі виробництва 57 одиниць. Економічний ефект від використання нової технології модифікування хромованих покриттів робить доступним і доцільним процес відновлення і зміцнення вузлів і деталей різних закордонних виробників, що працюють в умовах великих навантажень при терті, абразивному зносі і кавітації в Україні.

На мою думку, позитивним результатом також є новий технологічний процес виробництва двошарових листопркатних валків чистових клітей з хромовмісних чавунів, що відливаються в металеві форми відцентровим методом, і підхід до моделювання умов кристалізації виливків з витримкою робочого шару протягом ~ 6 год в інтервалі магнітного перетворення цементиту і спеціальних карбідів при попередньому підігріві металевої форми перед його заливанням. Нова технологія виливання дозволяє виключити подальшу термічну обробку для легованих чавунів з часткою карбідних фаз в інтервалі 25-40%. Запропоновані здобувачкою технологічні рішення, захищені патентами України,

очікуваний економічний ефект щодо підвищення стійкості прокатних масивних валків листових станів буде складати 910 тис. грн при обсязі їх виробництва 1300т.

Мені видається, що наведені у даному розділі дисертації результати ілюструють такий важливий і невід'ємний бік роботи, як реальну можливість інженерної реалізації напрацювань здобувачки Клочко О. Ю.

У додатках до дисертації, що рецензується, представлено додаткову технічну інформацію, що була одержана в ході виконання дисертаційної роботи, і яка ілюструє фактичний матеріал наукових досліджень, а також затверджену технічну документацію, яка підтверджує застосування наукових напрацювань на практиці, це – акти промислової апробації та впровадження розробок у виробництво та технологічна інструкція на відновлення деталей паливної апаратури дизельних двигунів.

Зауваження по дисертаційній роботі

Окрім викладених вище позитивних якостей рецензованої дисертації Клочко О.Ю. слід зробити наступні зауваження по роботі:

1. У рубриці «Актуальність теми» як завершення обґрунтувань щодо вибору теми дисертаційного дослідження авторка чомусь не сформулювала у чіткому і лаконічному вигляді проблему, на вирішення якої спрямована робота. Втім, у загальних висновках таке формулювання присутнє, як це і рекомендують документи з підготовки автореферату і дисертації.

2. Розділ 2 дисертації є одним з розділів роботи, де дисертанткою висвітлюються методологічні підходи до вирішення поставлених завдань. Зокрема, на С. 78 дисертації згадується про оцінювання якості робочого шару хромовмісних чавунних валків станів гарячої прокатки і покриттів за рівнем фізико-механічних властивостей – твердості, коерцитивної сили, дисперсності, енергетичного стану, ступеня неоднорідності та анізотропії як експериментальними методами, так і теоретичними.

Проте, чомусь не вказано, наприклад, яке обладнання застосовувалось при вимірюванні коерцитивної сили. До того ж наведені у Додатку Б, табл. Б.3-Б.7 відомості щодо структурних станів досліджених матеріалів, які містять відповідні значення коерцитивної сили, на жаль, не мають належного пояснення значень цих величин, має місце лише констатація факту відмінностей коерцитивної сили залежно від виду термічної обробки.

3. Залишилось не зрозумілим чому у розділі 3 (рис. 3.2, 3.6, 3.18, 3.19, 3.21, 3.24) однакові фази і структурні складові позначені різними кольорами. Було б доцільним привести такі позначення до однієї системи.

4. На жаль, в роботі не представлено результатів детального дослідження фазового складу, що утворюється при розпаді залишкового аустеніту в результаті обробки високохромистого чавуну при температурах магнітного перетворення карбідних фаз.

5. Як можна пояснити протиріччя, при якому згідно представленим авторкою дослідженням у публікації [8] (Додаток А), після застосування термічної обробки в області магнітних перетворень карбідних фаз отримано повний розпад залишкового аустеніту, тоді, як при дослідженнях, що представлені у розділі 3 (п. 3.3.2, рис. 3.19 та табл. Б.2, Додаток Б) виявлено наявність фаз аустеніту (до 5%, табл. Б.2) після застосування аналогічних термічних обробок.

6. Авторка дисертації справедливо робить наголос на структурно-фазовій побудові, а, відтак, і властивостях, не тільки масивних хромовмісних сплавів, але й покриттів.

Однак, мені видається, було б також доцільним приділити увагу міцності зчеплення одержаних покриттів і підкладки, оскільки це є також важливим фактором для забезпечення стабільної роботи хромовмісних покриттів.

7. На мою думку, відомості, що наведені у Додатку Б, табл. Б3-Б7 доцільно було б помістити безпосередньо у розділ 6 дисертації, де, по-перше, було б наочно представлено структурний стан досліджених матеріалів після різних видів термічної обробки порівняно з

вихідним литим станом, відповідні значення коерцитивної сили та твердості, по-друге, у тексті можна було б надати ґрунтовний опис структурних явищ, представлених на фотографіях, і, по-третє, це спростило б сприйняття такої важливої частини дисертації.

8. Не зовсім зрозуміла доцільність дослідження шляхів пошуку найкращих параметрів термообробки щодо розпаду залишкового аустеніту і отримання необхідного комплексу споживчих властивостей, оскільки відповідно запропонованої в роботі нової технології регульованої кристалізації робочого шару з витримкою в інтервалах магнітного перетворення карбідних фаз, досягаються потрібні результати без додаткової термічної обробки.

9. Важливим результатом роботи став фактичний економічний ефект від впровадження наукових досліджень у виробництво, який склав 73,8 тис. грн при обсязі виробництва 57 одиниць (акт представлено у додатках).

Втім, на жаль, авторка не надала розрахунку економічного ефекту, що підтвердив би цю цифру. Аналогічна ситуація щодо очікуваного економічного ефекту у розмірі 910 тис. грн. від впровадження наукових напрацювань у виробництво.

10. На жаль, у анотації англійською мовою мають місце окремі помилки щодо побудови речень, порядку слів у ньому, а також присутності у анотації одночасно різних часових форм (Present Indefinite Tense та Passive Voice Past Tense).

Загальні висновки по дисертації

Дисертація Ключко О.Ю. є завершеною науковою працею, при виконанні якої були одержані нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальну науково-технічну проблему, пов'язану з підвищенням експлуатаційної стійкості виробів з використанням процесів моделювання та прогнозування структуроутворення, властивостей у хромовмісних сплавах та покриттях.

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у наукових фахових і міжнародних виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science, і широко апробовані на міжнародних науково-технічних конференціях.

Матеріали і напрацювання, що входили до кандидатської дисертації Ключко О.Ю., не використовуються у представленій докторській дисертації.

Зміст автореферату дисертаційної роботи Ключко О.Ю. є ідентичним до основних положень дисертації.

Вважаю, що дисертаційна робота «Теоретичне та експериментальне моделювання і прогнозування структуроутворення та властивостей хромовмісних сплавів та покриттів» повністю відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство» та вимогам п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567, щодо докторських дисертацій, а її авторка – **Ключко Оксана Юріївна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за означеною спеціальністю.

Офіційний опонент,
професор, доктор технічних наук,
в. о. зав. кафедри технології поліграфічного виробництва
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

 Т. А. Поїк

Підпис професора, д.т.н. Т. А. Поїк засвідчую:
Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського



 А. А. Мельниченко