

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Горпенко Артема Олександровича  
на тему «Вплив дефектів наплавлення на втомну міцність титанового сплаву  
BT22 з відновленою поверхнею»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 Механічна інженерія  
за спеціальністю 132 Матеріалознавство

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальність теми дисертаційної роботи Горпенка Артема Олександровича обумовлена потребою у підвищенні ресурсу та втомної довговічності відповідальних елементів конструкцій з титанових сплавів, зокрема BT22, шляхом оптимізації процесів відновлювального наплавлення та наступної локальної термічної обробки. З огляду на складні умови експлуатації авіаційної техніки, актуальним є завдання відновлення зношених поверхонь без зниження їхніх експлуатаційних характеристик.

Титанові сплави широко застосовуються в авіаційній, машинобудівній, енергетичній та інших високотехнологічних галузях завдяки їх високій питомій міцності, корозійній стійкості та здатності працювати за умов значних навантажень. У цьому контексті дослідження, спрямоване на виявлення впливу мікроструктурних дефектів, фазових неоднорідностей та локальних змін мікротвердості, є надзвичайно важливим як з точки зору поглиблення наукових знань, так і з прикладної інженерної точки зору.

Дисертаційна робота відображає актуальні наукові завдання, зокрема дослідження впливу типу присадного матеріалу та режимів локальної термічної обробки на формування структури й втомну міцність відновленого шару. Практична значущість теми підтверджується її впровадженням на підприємствах авіаційного профілю, зокрема в АТ «Антонов». Результати досліджень також можуть знайти подальшу реалізацію для впровадження в навчальний процес кафедри фізичного матеріалознавства та термічної обробки.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна дисертаційної роботи Горпенка Артема Олександровича полягає у встановленні нових закономірностей впливу технологічних параметрів відновлювального наплавлення та локальної термічної обробки на мікроструктуру, мікротвердість та втомну міцність відновлених авіаційних деталей з титанового сплаву BT22. Уперше показано, що в зоні термічного



впливу після наплавлення присадними дротами СП15св та ВТ22св можуть утворюватися мікроструктурно неоднорідні області, які супроводжуються локальними змінами хімічного складу та зниженням мікротвердості, що негативно позначається на втомній довговічності деталей.

Обґрунтовано ефективність застосування швидкісного СВЧ-нагріву як методу локальної термічної обробки для формування однорідної структури, зниження рівня залишкових напружень та стабілізації мікротвердості у зоні наплавлення і зоні термічного впливу (ЗТВ). Вперше виявлено, що наявність пор діаметром 80–120 мкм у приповерхневому шарі сприяє ініціації втомних тріщин і призводить до зниження втомної міцності до 45–50% порівняно з матеріалом без таких дефектів.

Достовірність результатів дослідження забезпечується використанням сучасного експериментального обладнання та методик: оптичної та скануючої електронної мікроскопії, мікродюрометрії, рентгенофазового аналізу, а також достатньою експериментальною вибіркою даних, що забезпечувалась великою кількістю експериментів та випробувань. Отримані результати мають належне фізико-металургійне обґрунтування та демонструють узгодженість між структурними змінами, фазовим складом і механічними характеристиками, що свідчить про високий науковий рівень проведеної роботи. Особливо позитивної оцінки заслуговує детальне дослідження змін мікроструктури та локального хімічного складу різних зон експериментальних зразків.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі фізичного матеріалознавства та термічної обробки навчально-наукового інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом професора кафедри ФМТО, доктора технічних наук, Донія Олександра Миколайовича.

Отже, дисертаційне дослідження Горпенка Артема Олександровича є завершеним самостійним науковим дослідженням, яке відзначається актуальністю, чітко сформульованою метою досліджень та завданнями для її досягнення, які було виконано. Здобувач продемонстрував належний рівень володіння методологією експериментальної роботи та здатність до самостійного вирішення складних науково-прикладних завдань. У процесі виконання дисертації автором:

- ґрунтовно проаналізовано характер втомного руйнування зразків зі сплаву ВТ22 після застосування однакових умов наплавлення та локальної термічної обробки з метою виявлення чинників, що найбільш суттєво впливають на довговічність;

- досліджено мікроструктуру та мікротвердість у зонах наплавлення, термічного впливу та основного металу, встановлено залежність втомної міцності від ступеня структурної однорідності;



- ідентифіковано типові дефекти, що виникають у процесі відновлення, проаналізовано їхні розміри і розташування та оцінено вплив на втомну міцність, зокрема – на розвиток втомних пошкоджень;

- визначено зв'язок між локальними змінами хімічного складу, фазовим станом та зниженням механічних властивостей у зонах з неоднорідною травимістю.

Сукупність отриманих результатів свідчить про високий рівень теоретичної та експериментальної підготовки здобувача, його вміння застосовувати сучасні методи дослідження, здатність комплексно аналізувати одержані дані та обґрунтовувати отримані висновки.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Горпенко А. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Матеріалознавство.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Горпенко Артема Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Виклад матеріалу здійснено послідовно, логічно та доступно, з дотриманням норм наукового стилю. Автор демонструє високу культуру наукового мовлення, чітко формулює положення, гіпотези та висновки, послуговується загальноприйнятою фаховою термінологією, що засвідчує глибоке володіння професійною мовою у галузі матеріалознавства.

Структура дисертації відповідає вимогам до наукових кваліфікаційних робіт: розділи логічно взаємопов'язані між собою, текст супроводжується інформативними графічними матеріалами, таблицями та належною системою літературних посилань. Мовний стиль є академічним, вагомих граматичних чи стилістичних помилок не виявлено.

Дисертація включає вступ, п'ять основних розділів, висновки та список використаних джерел, а її загальний обсяг становить 165 сторінок.



У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну, практичну значущість, апробацію результатів та наукові публікації здобувача.

У першому розділі подано огляд сучасного стану проблеми: висвітлено властивості титанових сплавів, технології наплавлення, вплив типів присадних дротів і дефектів на втомну міцність.

Другий розділ присвячено опису матеріалів, методик експерименту, режимів наплавлення та локальної термічної обробки, а також методам мікроструктурного аналізу, твердості та шорсткості.

У третьому розділі розглянуто вплив СП15св і локальної термічної обробки на структуру, твердість і втомну поведінку, з акцентом на структурну неоднорідність як джерело втомних тріщин.

У четвертому розділі досліджено наслідки наплавлення ВТ22св та ЛТО: проаналізовано фазові перетворення, пористість, твердість, показано вплив пор на довговічність.

У п'ятому розділі узагальнено вплив дефектів на механізм руйнування; запропоновано методику виявлення зон з відмінною травимістю без хімічного травлення, придатну для контролю якості поверхневого шару.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у чотирьох наукових публікаціях здобувача, серед яких: три статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; одна стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, яка віднесена до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports, що рекомендовані до друку Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського та пройшли рецензування.

Також результати дисертації були апробовані на чотирьох наукових фахових конференціях.

Науковий рівень публікацій здобувача відповідає вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано чотири статті у фахових наукових виданнях України за спеціальністю 132 «Матеріалознавство», зокрема одна стаття — у співавторстві з більш ніж двома авторами. Окрім того, одна стаття опублікована у науковому журналі, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus (категорія А, квартиль



Q1), що свідчить про визнання результатів дослідження у міжнародній науковій спільноті.

Також здобувач представив результати досліджень на чотирьох наукових конференціях, опублікувавши відповідні тези доповідей.

У всіх публікаціях здобувач чітко зазначений як автор, дотримано принципів академічної доброчесності. Особистий внесок автора у кожній роботі підтверджено: здобувач самостійно проводив експериментальні дослідження, обробляв результати, здійснював аналіз та підготовку матеріалів до публікації.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. В роботі (розділ 1, підрозділ 1.3.) вказано, що сплав Timet-10-2-3 можна назвати аналогом сплаву VT22. При цьому, перший сплав відноситься до псевдо- $\beta$ , а другий – до  $\alpha+\beta$  типу. Варто пояснити, в чому полягє аналогічність сплавів і в якому контексті.

2. В розділі 1.5. на с. 38 згадується, що температура  $\alpha+\beta\rightleftharpoons\beta$ -переходу сплаву VT22 знаходиться в межах 840-870 °С, але 100 %  $\beta$ -фази в сплаві можна зафіксувати при температурі нагрівання вище 920 °С. В той же час, на рис. 1.10 приведено структуру сплаву VT22, який було загартовано з температури 800 °С, але візуально він має структуру  $\beta$ -сплаву. Поясніть таку розбіжність.

3. Таблиці 2.4 і 2.6, в яких наведено вміст газів у присадних дротах для відновлення поверхонь деталей, можна було об'єднати в одну.

4. В методиці приведено значення механічних властивостей сплаву VT22, але не наведено показники втомної міцності. Яким чином можна зробити порівняння вихідного та відновленого стану?

5. В роботі були застосовні в невеликій кількості вузькоспеціалізовані терміни та виявлено декілька орфографічних помилок.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Горпенко Артема Олександровича на тему: «Вплив дефектів наплавлення на втомну міцність титанового сплаву VT22 з відновленою поверхнею» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для



Механічної інженерії. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Горпенко Артем Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

**Офіційний опонент:**

заступник завідувача відділу процесів плавки та рафінування сплавів Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України, к. т. н., ст. досл.



Михайло ВОРОН

**Підпис к. т. н., ст. досл. Ворона М.М. засвідчую:**

Вчений секретар  
ФТІМС НАН України,  
к. т. н., ст. н. с.



Володимир ЛАХНЕНКО

М. П.

