

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Горпенка 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 дисертаційної роботи Горпенка Артема Олександровича зумовлена необхідністю підвищення ресурсу та втомної довговічності відповідальних елементів конструкцій з титанових сплавів, зокрема сплаву BT22, шляхом рекомендацій по оптимізації технологій відновлювального наплавлення та наступної локальної термічної обробки. Зважаючи на жорсткі умови експлуатації авіаційної техніки, особливої важливості набуває завдання відновлення зношених поверхонь без втрати їхніх експлуатаційних характеристик.

Титанові сплави завдяки поєднанню високої питомої міцності, корозійної стійкості та здатності працювати в умовах значних механічних навантажень знаходять широке застосування в авіабудуванні, енергетичній галузі, машинобудуванні та інших високотехнологічних сферах. У цьому контексті дослідження, спрямовані на вивчення впливу мікроструктурних дефектів, фазових неоднорідностей і локальних змін мікротвердості, мають не лише наукову цінність, а й практичну значущість для забезпечення надійності конструкцій.

Тематика дисертаційної роботи охоплює актуальні науково-технічні завдання, зокрема вивчення впливу типу присадного матеріалу під час процесу наплавлення та параметрів локальної термічної обробки на формування мікроструктури та втомну поведінку титанового сплаву BT22. Практична цінність результатів підтверджується їх впровадженням на підприємстві авіаційної промисловості в АТ «Антонов», а також інтеграцією в науково-дослідні теми профільної кафедри.

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

Наукова новизна дисертаційної роботи Горпенка Артема Олександровича полягає у встановленні нових закономірностей впливу технологічного процесу відновлювального наплавлення та наступної локальної термічної обробки на формування мікроструктури, розподіл мікротвердості та рівень втомної міцності титанового сплаву BT22. Показано, що при використанні присадних

дротів типів СП15 та експериментального ВТ22 у зоні термічного впливу можуть виникати мікроструктурні неоднорідні області з локальними змінами хімічного складу та зниженням мікротвердості, що в свою чергу знижує втомну довговічність елементів конструкцій.

Робота виконана на кафедрі фізичного матеріалознавства та термічної обробки Навчально-наукового інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона КПІ ім. Ігоря Сікорського у межах науково-дослідної тематики під керівництвом кандидата технічних наук, професора Донія Олександра Миколайовича.

В роботі обґрунтовано доцільність використання швидкісного СВЧ-нагріву як методу локальної термічної обробки, який забезпечує формування однорідної структури, зменшення рівня залишкових напружень та стабілізацію мікротвердості в зоні наплавлення та зоні термічного впливу. Встановлено, що наявність пор діаметром 80–120 мкм у приповерхневому шарі сприяє ініціюванню втомних тріщин і знижує рівень втомної міцності до 45–50% у порівнянні з матеріалом без дефектів.

Достовірність отриманих результатів підтверджена застосуванням сучасного аналітичного обладнання і методик: оптичної та сканувальної електронної мікроскопії, аналізу мікротвердості, рентгеноспектрального аналізу, а також повторними експериментальними випробуваннями. Виявлені закономірності мають фізико-металургійне обґрунтування та демонструють узгодженість між структурними особливостями, фазовим складом і механічними властивостями, що свідчить про високий науковий рівень проведеного дослідження.

Отже, дисертаційне дослідження є завершеною самостійною науковою працею, яка повністю відповідає поставленим завданням. Здобувач продемонстрував глибоке розуміння методології експериментального дослідження та здатність до самостійного розв'язання складних науково-прикладних проблем. У межах дисертаційної роботи автор:

- дослідив закономірності втомного руйнування зразків зі сплаву ВТ22 за однакових умов наплавлення та термічної обробки з метою визначення основних факторів, що впливають на довговічність;

- провів аналіз мікроструктур та отриманих значень мікротвердості наплавленого металу, зони термічного впливу та основного металу, встановивши зв'язок між рівнем структурної однорідності та втомною міцністю;

- ідентифікував основні дефекти в зразках і кількісно оцінив їхній вплив на розвиток втомного пошкодження;

- визначив взаємозв'язок між локальними змінами хімічного складу, фазовим станом і погіршенням механічних властивостей у зонах з неоднорідною структурою.

Сукупність отриманих результатів свідчить про високий рівень теоретичної та експериментальної підготовки здобувача, його вміння застосовувати сучасні методи дослідження та формулювати обґрунтовані висновки на основі всебічного аналізу.

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

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

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 Горпенка 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.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків та списку літератури. Загальний обсяг дисертації 165 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, визначено мету, основні завдання, об'єкт і предмет дослідження, окреслено наукову новизну, практичну значущість отриманих результатів, подано дані про їх апробацію та перелік публікацій автора за темою дисертації.

Перший розділ присвячено огляду сучасного стану досліджуваної проблематики. Розглянуто фізико-механічні властивості титанових сплавів, особливості технологій наплавлення, вплив типу присадного дроту та наявності дефектів на втомну міцність.

У другому розділі методичну частину дослідження: наведено характеристики використаних матеріалів, параметри наплавлення та локальної термічної обробки, методики мікроструктурного аналізу, вимірювання мікротвердості та оцінювання шорсткості поверхні.

Третій розділ зосереджено на дослідженні впливу наплавлення із застосуванням дроту СП15 у поєднанні з локальною термічною обробкою на



мікроструктуру, мікротвердість і втомну поведінку, з акцентом на структурну неоднорідність як джерело втомних тріщин.

У четвертому розділі проаналізовано результати наплавлення присадним дротом із сплаву ВТ22 і наступної локальної термічної обробки. Вивчено характер фазових перетворень, рівень пористості, розподіл мікротвердості та показано вплив пор на зниження довговічності матеріалу.

П'ятий розділ узагальнює дані щодо впливу дефектів на механізм втомного 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 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому 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 КПП ім. Ігоря Сікорського та пройшли рецензування.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

У всіх наукових публікаціях здобувач зазначений серед авторів відповідно до принципів академічної доброчесності. Особистий внесок автора є підтвердженим і полягає у самостійному проведенні експериментальних досліджень, обробці отриманих результатів, їх аналізі та підготовці матеріалів до публікації.

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

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

Основні недоліки та зауваження по дисертаційній роботі полягають в наступному:

1. В Анотації (ст.2) зазначено, що дисертаційна робота, в тому числі, присвячена впливу фізико-технологічних параметрів відновлювального наплавлення на мікроструктуру, фазовий склад і т.д. Предметом дослідження було не підбір режимів процесу наплавлення, а дослідження отриманих зразків за допомогою цього методу. Також по тексту роботи зустрічається твердження,

що застосування зовнішнього магнітного поля в процесі наплавлення зменшує кількість дефектів в отриманих зразках. Дане твердження є хибним.

2. На ст. 3 і далі по тексту дисертації зазначається, що були використані такі марки присадних дротів, як СП15св та ВТ22св. Відповідно до ГОСТ 27265-87 правильним маркуванням першого дроту є СП15. Дріт із сплаву ВТ22 серійно не виготовляється, тому не має маркування. З огляду на високу міцність, отримання якісного дроту суцільного перерізу на основі титанового сплаву ВТ22 є майже неможливим. Дану інформацію можна перевірити в наукових публікаціях. В підрозділі 2.1.2 написано про отримання такого дроту з вихідного прутка. Однак, нічого не сказано про якість отриманого матеріалу: чистота поверхні, наявність поверхневих дефектів і т.п., що ставить під сумнів використання такого матеріалу в якості присадки.

3. В дисертаційній роботі порівнюються зразки отримані за допомогою дротів суцільного перерізу: марки СП15 та експериментального дроту із сплаву ВТ22. Є відповідні посилання на джерела, де описаний процес наплавлення з використанням цих присадних матеріалів. Важливим потрібно також зазначити, що в цих джерелах (71, 74, 75) показано використання в якості присадного матеріалу також порошкового дроту ППТ-22 для відновлювального наплавлення сплаву ВТ22. Здобувач в своїй роботі не досліджував зразки, отримані з цим матеріалом.

4. В таблиці 1.3, де наводиться класифікація титанових сплавів, не вказаний цілий клас  $\beta$ -сплавів. В першому розділі на ст. 33 вказано, що сплав  $Ti-10V-2Fe-3Al$  є аналогом сплаву ВТ22. Дане твердження є хибним з огляду на різну систему легування цих сплавів та кількість легуючих елементів в них.

5. В першому реченні підрозділу 1.6 написано, що наплавлення є одним із найбільш ефективних видів зварювання. Ці два методи різні по своєму сенсу та призначенню.

6. Однією з методик по дослідженню дефектів в наплавлених шарах було виконання отворів діаметром 6 мм. Дана методика не описана у відповідному розділі, тому є не зрозумілою для читача.

7. По тексту роботи є дрібні зауваження. В назві роботи, як і по тексту вживається термін «наплавлення», який потребує зазвичай уточнення, що це саме процес. Зразок №4 в таблиці 4.1 має 14874 цикли, а в таблиці 4.3. має 14784 цикли. На ст. 93 знаходиться рисунок 3.18, де поруч з зображенням мікроструктури та виділених на ній зон для дослідження хімічного складу, розміщена таблиця, яка має бути винесена за межі рисунку. В підписі до рис.2.3 вказане посилання на джерело інформації 109, яке немає жодного відношення до самого зображення. Не зрозумілий сенс та наявність останнього речення на ст. 102. На сторінках 5 та 6 повторюються сенс в речення; також на ст. 33 та ст. 35 інформація в реченнях дублюється. На ст. 7 зазначені «Інші вироби», де не

зрозуміло про що саме йде мова. В підписах до рисунків 1.11 та 1.12 вказано, що зазначені структури отримані за графіками, однак самі графіки відсутні. В аналітичному огляді літературних даних в Розділі 1 здобувач посилається на відповідні літературні джерела, однак в підписах до рисунків 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 та 1.10, які були запозичені з інших джерел, нема посилань на них. Також до деяких з цих рисунків (зображення мікроструктур) не вказано збільшення, при яких вони були отримані.

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 Горпенка Артема Олександровича на тему «Вплив дефектів наплавлення на втомну міцність титанового сплаву BT22 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:**

старший науковий співробітник  
відділу металургії та зварювання  
титанових сплавів

Інституту електрозварювання  
ім. Є.О. Патона НАН України,  
к.т.н., старший дослідник



Сергій ШВАБ



М.П.

«5» червня 2025 року