

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію  
**Павленка Дмитра Вікторовича**  
**«Розвиток наукових основ і удосконалення процесів**  
**виготовлення деталей газотурбінних двигунів з порошкових матеріалів**  
**із застосуванням інтенсивної пластичної деформації»,**  
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

### Актуальність теми дисертації

Ключовою проблемою при виробництві деталей відповідального призначення з порошків є низький рівень їх механічних властивостей. Це аспект зводить на нівець переваги використання порошків у машинобудуванні. Особливо це стосується деталей, що виготовляються з титану, який має високу ціну. Титанові сплави групи ВТ використовуються у конструкціях навантажених деталей авіаційної двигунів. Виготовлення таких деталей звичайним способом є витратним процесом. Використання порошкових матеріалів для підвищення коефіцієнту виходу придатного ускладнено у зв'язку з високими вимогами по механічним властивостям, що висуваються до таких деталей, а саме деталей двигунів газових турбін.

Покращення якості виробів з титану з порошкових матеріалів є актуальною науковою та виробничою проблемою. Виготовлення заготовок з порошкового титану та їх подальша деформація задля усунення пористості є напрямком до поширення сфери їх використання. Але при обробки таких заготовок тиском виникають певні труднощі. Обробка тиском титану та його сплавів, а у некомпактному стані, є дуже складним науково-технічним завданням.

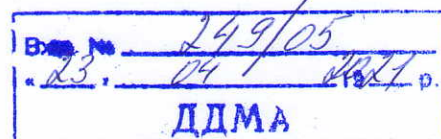
Другою проблемою виробництва заготовок з титанових сплавів це відсутність замкнутого циклу виробництва в Україні в промисловому масштабі. Вітчизняні підприємства закупають титанову губку – це підвищує вартість виробництва лопаток.

Тому вважаю, що тема дисертації, яка направлена на розвитком наукових основ і удосконалення процесів виготовлення деталей газотурбінних двигунів з порошкових матеріалів із використанням процесів інтенсивної пластичної деформації є актуальною.

### Оцінка структури, змісту і завершеності дисертації

Дисертація складається з: вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 373 сторінки, з них 290 сторінок основного тексту, 110 рисунків, 40 таблиць, список використаних джерел з 294 найменувань та 2 додатка.

Структура роботи відповідає вимогам, що пред'являють до докторських дисертацій та не викликає заперечень. Дисертація є завершеною науковою працею.



## Експертиза змісту розділів дисертації

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації та викладено загальну концепцію роботи, показано зв'язок дисертації з науковими планами, темами та напрямками. Показано суть наукової новизни виконаних досліджень, їх практична цінність і результати впровадження. Відображено особистий внесок здобувача.

*Перший* у першому розділі проводиться аналіз стану виробництва деталей з титанових сплавів. Показана актуальність проблеми підвищення якості заготовок і зниження їх собівартості. Проаналізовано варіанти виготовлення заготовок з порошкових матеріалів обробкою тиском. Показано, що одержання задовільних механічних властивостей порошкових заготовок при виготовленні лопаток турбін можливе застосуванням інтенсивної пластичної деформації. Також приділено увагу впливу ІПД на технологічну пластичність матеріалів.

Було встановлено, що актуальним завданням також є проектування обладнання для отримання порошкових заготовок методами інтенсивної пластичної деформації. На основі літературних даних автор запропонував новий технологічний цикл виготовлення заготовок лопаток компресора ГТД. Це дозволить зменшити витрати на виробництво й зменшити забруднення навколишнього середовища. Були поставлені мета та задачі дослідження.

У *2 розділі* описано оригінальні та стандартні методи обробки заготовок, дослідження їх якості. Описано методи виробництва заготовок з порошкових матеріалів, термічної обробки, пористості, міцності, твердості та текстури зразків після деформації, а також розроблені методики визначення теплофізичних характеристик титанових сплавів. Показані методи деформації спечених заготовок: гідроекструзія, кручення під високим тиском, гаряче ізостатичне пресування та гвинтова екструзія. Розглянуто методики моделювання та статистичної обробки результатів експериментів.

В *3 розділі* проведено дослідження з встановлення закономірностей впливу часу спікання на ущільнення заготовок, що дозволило отримати раціональні параметри спікання. Встановлено, що в процесі виробництва порошкового напівфабрикату вміст кисню і азоту не перевищує граничних величин і не впливає на зниження механічних властивостей. Показано, що виробництво заготовок з порошків без додаткової термомеханічної обробки призводить до формування структури, що містить в собі значну кількість пор і не відповідає за механічними властивостям матеріалам для турбінних лопаток. Показано, яким чином на запас міцності впливає розмір та форма пор.

У *4 розділі* автором встановлено, що в процесі гвинтової екструзії заготовки отримують високу щільність та задовільні механічні властивості. Встановлено текстуроутворення в матеріалів під час ІПД гвинтовою екструзією. Встановлено її вплив на фізико-механічні властивості. Крім того, автором показано ефективність застосування даного методу для складнолегованих порошкових матеріалів. Проведено дослідження, щодо визначення впливу інтенсивної пластичної деформації гвинтовою екструзією на технологічну пластичність напівфабрикатів зі спечених титанових сплавів. Встановлено, що застосування гвин-

тової екструзії істотно підвищує технологічну пластичність. Проведено оцінку міцнісної надійності лопаток малорозмірних ГТД отримуваних зі сплаву ВТ8 після ІПД за запропонованою технологією. Показано обмеження застосування отримуваних матеріалів в залежності від умов роботи кінцевого виробу. Запропоновано технологію отримання лопаток ГТД з порошкового матеріалу із застосуванням ІПД.

В *5 розділі* автором досліджено конструктивні аспекти оснащення для реалізації ІПД титанових спечених заготовок з порошкових матеріалів, розроблено рекомендації щодо конструкції штампів та дослідно-промислової установки для пресування з протитиском в умовах серійного типу виробництва. Розглянуто питання щодо вимог та шляхів модернізації пресового обладнання. Обчислено економічний ефект від промислового впровадження розробки, а також визначено її вплив на екологію.

У *додатках* наведено результати впровадження роботи на АТ «Мотор Січ», ДП «Івченко-Прогрес», в НУ «Запорізька політехніка» результати роботи використовуються у навчальному процесі та науково-дослідних роботах; перелік опублікованих праць за темою дисертації.

На основі проведеної експертизи слід відзначити наявність наступних необхідних елементів у дисертаційній роботі.

### **Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наведені в дисертації результати отримані на базі загальноприйнятих положень теорії обробки металів тиском і процесів інтенсивної пластичної деформації зокрема. Запропоновані теоретичні моделі є подальшим розвитком відомих моделей які розроблено провідними фахівцями в галузі обробки металів тиском та не суперечать їм. Експериментальні результати отримані на стандартному лабораторному і промислового обладнанні, а також за допомогою вимірювального інструмента, який пройшов метрологічний контроль. Використано достатню для статистичної обробки кількість зразків, що забезпечує достовірність отриманих результатів. Методики досліджень відповідали діючим стандартам. Розроблені моделі адекватні. Експериментально-теоретичні дослідження підтверджені реалізацією результатів в промислових умовах. Таким чином, результати досліджень в повній мірі є обґрунтованими.

### **Наукова новизна результатів дисертації**

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

1. Вперше запропоновано та обґрунтовано використання процесів гвинтової екструзії до заготовок, які виготовлені з порошкових матеріалів для виробництва деталей газотурбінних двигунів.

2. Вперше встановлені залежності зміни структури, механічних і фізичних властивостей спечених титанових сплавів при деформації гвинтовою екструзією, які враховують еволюцію порового простору заготовок.

3. Вперше для заготовок зі спечених сплавів обґрунтовано наявність в

площині зсуву вихрових рухів, поява яких викликана особливостями деформації гвинтовою екструзією.

4. Отримали подальший розвиток уявлення про особливості пресування заготовок з порошкових матеріалів та параметрів інструменту на їх структуру та властивості, що дало можливість проводити багатоциклову обробку без руйнування матеріалу для підвищення якості.

5. Отримала подальший розвиток модель газонасичення заготовок з порошкових титанових матеріалів при деформуванні, яка дозволила оцінити максимальний рівень газових домішок.

### **Значення дисертаційного дослідження для науки й практики**

Практичне значення роботи представляють наступні результати:

1. Розроблені конструктивні рекомендації для дослідно-промислової установки при гвинтової екструзії та технологічного оснащення.
2. Запропоновано спосіб виробництва титанових порошкових напівфабрикатів для виробництва лопаток газотурбінних двигунів.
3. Розроблено спосіб обробки тиском спечених заготовок з протитиском та технологічні рекомендації щодо рівня протитиску.
4. Зроблені рекомендації щодо застосування заготовок з порошків титану у конструкції компресора газотурбінних двигунів для безпілотних літальних апаратів.
5. Дані рекомендації щодо гранично допустимих розмірів пор в заготовках лопаток компресора.

### **Рекомендації щодо використання результатів дисертації**

Запропоновані автором дисертації науково-технічні рішення представляють особливий інтерес для впровадження у виробництво газотурбінних двигунів для безпілотних літальних апаратів. Для застосування у виробництві можна рекомендувати запропоновані спосіб виготовлення напівфабрикатів та конструкції штампового оснащення. Представлені розробки будуть корисним надбанням науково-дослідним на навчальним організаціям.

### **Повнота викладу наукових результатів у публікаціях автора**

За результатами роботи над дисертацією були надруковані 63 праці, зокрема: 21 стаття – у фахових виданнях України, 13 статей – у міжнародних наукових журналах, 13 статей – у наукових журналах, внесених до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS, 24 роботи – в матеріалах конференцій. 15 статей опубліковано без співавторів. Нові технічні рішення захищені 4 патентами України. У працях, які надруковані у співавторстві, визначено особистий внесок автора. У роботах повністю відображена суть виконаних досліджень.

### **Апробація результатів дисертаційної роботи**

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, результати практичного застосування і впровадження, а також основні положення роботи доповідались більш ніж на 20-ти наукових конференціях, виставках і семінарах.

## **Відповідність структури, змісту й оформлення дисертації встановленим вимогам і змісту автореферату основним положенням дисертації**

Структура роботи, її обсяг повною мірою відповідають вимогам, що висуваються до докторських дисертацій. Назва та зміст роботи цілком відповідає паспорту спеціальності 05.03.05. Дисертаційна робота має всі необхідні розділи, яких достатньо для розуміння суті проведених автором досліджень, від постановки цілей та завдань дослідження до практичних рекомендацій і впровадження результатів у виробництво. Дисертацію написано грамотною технічною мовою. Викладені наукові положення й результати роботи не суперечать сучасній теорії та практиці обробки металів тиском. Дисертаційна робота повністю розкриває основні положення виконаних автором досліджень.

## **Зауваження по дисертації та автореферату**

1. Стор. 85 – написано: «...Зусилля пресування становило 500...1000 МПа. Мабуть це технічна помилка.
2. На стор. 88 написано, що теплопровідність визначалась на приладі LFA 457, а далі написано, що розраховувалась по формулі.
3. Що таке легкоплавке скло? Який в нього склад та температура плавлення?
4. У п. 2.2.2: вказано, що тиск на торцевих поверхнях був 5ГПа, але не вказано з якого матеріалу виготовлялись деформуючі плити для кручення.
5. У роботі не досліджено НДС металу заготовки при ПД.
6. Зустрічаються повтори тексту, наприклад: «...процес рекристалізації – процес зародження і росту нових зерен...» (стор. 243), це визначення приводилось вище.
7. На стор. 261 йде мова про процеси рекристалізації та релаксацію напружень на базі рентгенограм, але представлено графіків або фотографій з цих досліджень.
8. Не повністю розкрити причини та фізика процесу утворення так званої «латентних вихорів».
9. Не до кінця зрозуміло як визначається коефіцієнт жорсткості напруженого стану (стор.264).
10. Графіки деформаційна пористість від ступеня деформації (рис. 4.46) не перевірялися експериментально.

## **Загальний висновок**

Зроблені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки роботи. Дисертантом виконана актуальна робота, що має наукову новизну, практичну цінність, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати.

Дисертаційна робота Павленка Дмитра Вікторовича «Розвиток наукових основ і удосконалення процесів виготовлення деталей газотурбінних двигунів з

порошкових матеріалів із застосуванням інтенсивної пластичної деформації» є завершеною науковою працею, яка була виконана самостійно. Запропонована автором тема є актуальною. У роботі виконано теоретичне узагальнення і нове вирішення актуальної науково-прикладної проблеми підвищення якості заготовок з порошкових матеріалів для виробництва деталей газотурбінних двигунів із застосуванням інтенсивної пластичної деформації.

Це дозволяє оцінити роботу як таку, що відповідає вимогам Постанови КМУ від 24 липня 2013 р. № 567 «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів» (з урахуванням змін, що внесені Постановою КМУ від 19 серпня 2015 р. № 656 «Деякі питання реалізації етапі 54 Закону України «Про вищу освіту»), що пред'являються до докторських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри комп'ютеризованих  
дизайну і моделювання процесів і машин  
Донбаської державної машинобудівної академії,  
д.т.н., проф.

О.Є. Марков

Підпис професора О.Є. Маркова засвідчую  
Проректор з наукової роботи,  
управління розвитком та міжнародних зв'язків



М.А. Турчанін