

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ВИШНЕПОЛЬСЬКОГО ЄВГЕНА ВАЛЕРІЙОВИЧА

**«Підвищення якості деталей газотурбінних двигунів, отриманих селективним лазерним спіканням, шляхом алмазного вигладжування»,**

поданої на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук за спеціальністю

05.02.08 – «Технологія машинобудування»

**1. Актуальність теми.** Однією з проблем вітчизняних авіаційної та ракетно-космічної галузі є конкурентоспроможність продукції на зовнішньому та внутрішньому ринках. Для забезпечення високої якості та низької собівартості продукції необхідно впровадження нових матеріалів та ресурсозберігаючих технологій, у тому числі технологій виробництва деталей газотурбінних двигунів на авіаційних підприємствах України. Вони працюють в умовах високих навантажень та агресивного середовища, що значно підвищує вимоги щодо якості поверхні та поверхневого шару місць концентрації напружень. Для вирішення цих завдань все більшого розповсюдження набуває використання жароміцних нікелевих і титанових сплавів. Вони характеризуються високим рівнем властивостей серед яких міцність, опір окисленню та корозії. Але одночасно з цим зазначені сплави погано піддаються обробці різанням, що призводить до збільшення часу та вартості обробки. Також слід зазначити, що більша частина деталей двигуна має складний профіль і отримання заготовок для них традиційними методами призводить до необхідності знімання великої кількості стружки та низьких значень коефіцієнту використання матеріалу.

Можливим шляхом вирішення цих суперечливих завдань може стати використання адитивних технологій. Основними перевагами зазначених технологій є можливість отримання виробів з високими значеннями коефіцієнта використання матеріалу, що значно знижує витрати та час на подальшу обробку деталі.

Однак окрім великої кількості переваг є фактори, які стримують розпов-

сюдження адитивних технологій для деталей авіаційної та ракетно-космічної техніки. До них відноситься залишкова пористість, низька точність та рівномірність отримуваних виробів, чутливість до концентрації напружень. Вони призводять до зниження запасу міцності та рівня надійності деталей ГТД.

Тому, на сьогодні питання розширення сфери застосування адитивних технологій та підвищення якості поверхневого шару деталей, виготовлених з нікелевих сплавів та сплавів на основі алюмініду титану, отриманих за допомогою селективного лазерного спікання, є актуальним науково-прикладним завданням. Саме на розширення сфери застосування адитивних технологій і спрямовано дисертаційну роботу Вишнепольського Є.В.

**2. Відповідність планам наукових досліджень.** Результати кандидатської дисертації Вишнепольського Є.В. спрямовані на вирішення завдань, поставлених стратегії відродження вітчизняного авіабудування на період до 2030 року, схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 липня 2020 року № 851-р. Робота виконана в рамках наукового напрямку кафедри «Технології машинобудування» Національного університету «Запорізька політехніка» у рамках НДР №3115-1822/05-Д «Підвищення несучої здатності тонкостінних валів двигуна Д436Т1 технологічними методами» між університетом та АТ «МОТОР СІЧ» (УГК), у яких Вишнепольський Є.В. брав участь як виконавець.

**3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, та їх достовірність.**

Високий ступінь достовірності та обґрунтованості наукових результатів роботи визначається використанням базових фундаментальних залежностей теорій поверхнево-пластичного деформування. Рівень обґрунтованості результатів забезпечується тим, що розроблені моделі та пояснення явищ ґрунтуються на теорії пластичної деформації матеріалів та думках провідних вчених у відповідних галузях. Достовірність отриманих результатів забезпечена використанням переважно стандартних методів дослідження і статистичної обробки отриманих даних,



сучасної вимірювальної апаратури, а також підтверджена експериментально в лабораторних умовах та в умовах виробництва. Крім того, достовірність та обґрунтованість підтверджується всебічною та багаторазовою апробацією дисертації на міжнародних конференціях, наявністю рецензованих міжнародних публікацій в рейтингових виданнях, впровадженням у виробництво результатів досліджень. Достовірність результатів розрахунку на міцність та економічного ефекту забезпечується актами впровадження.

#### **4. Наукова новизна отриманих результатів.**

Із змісту дисертації випливає, що під час реалізації поставленого в дисертаційній роботі завдання сформульовано наукову новизну щодо предмету дослідження, яка полягає: в розвитку науково-теоретичного та практичного обґрунтування можливості розширення сфери застосування адитивних технологій шляхом алмазного вигладжування в авіаційній та ракетно-космічній галузі. Для цього:

1. Вперше для підвищення якості деталей з конструктивними концентраторами напружень отриманих з порошкових матеріалів шляхом селективного лазерного спікання, розроблено новий підхід, який базується на застосуванні алмазного вигладжування. Він включає підвищення якості поверхневого шару, його зміцненні, формування стискаючих залишкових напружень.

2. Вперше базуючись на теорії планування експериментів отримано математичні моделі параметрів алмазного вигладжування деталей отриманих з порошкових матеріалів селективним лазерним спіканням, які дозволяють назначати оптимальні режими обробки та забезпечити якісні характеристики поверхонь;

3. Вперше досліджено закономірності впливу режимних параметрів зміцнення на залишкову пористість деталей, отриманих методом селективного лазерного спікання з сплавів OX45-3ODS та INCONEL 718. Експериментально визначені параметри порового простору поверхневого шару деталей у зв'язку з режимними параметрами локальної деформаційної обробки алмазним вигладжуванням. Що дозволили визначити раціональні режими обробки з точки зору зменшення залишкової пористості поверхневого шару.

4. Вивчення впливу параметрів алмазного вигладжування конструктивних концентраторів напружень деталей зі сплаву ЕП609-Ш на опір втоми дозволило

покращити розуміння про поєднання цих параметрів з метою забезпечення запасу міцності деталей газотурбінних двигунів безпілотних літальних апаратів одноразового та багаторазового використання.

## **5. Практична цінність роботи.**

Практичне значення роботи полягає у тому, що на підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень, дослідно-промислових перевірок вирішено важливе науково-прикладне завдання в галузі технології машинобудування – розширення сфери застосування адитивних технологій та підвищення якості поверхневого шару деталей, виготовлених з нікелевих сплавів та сплавів на основі алюмініду титану, отриманих за допомогою селективного лазерного спікання.

Для забезпечення високої якості поверхневого шару деталей, отриманих за допомогою селективного лазерного спікання, розроблені технологічні рекомендації щодо використання алмазного вигладжування з раціональними: режимами обробки, параметрами інструменту та визначені особливості його використання.

Технічна новизна розробок захищено двома патентами.

Отримані автором результати окрім авіаційної та ракето-космічної галузі можуть бути використані у загальному машинобудуванні, верстатобудуванні, сільськогосподарському машинобудуванні тощо.

Результати дисертаційної роботи були використані при обробці деталей ГТД літальних апаратів (ДП «Івченко–Прогрес», АТ «МОТОР СІЧ»).

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка» при підготовці бакалаврів і магістрів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування».

## **6. Повнота викладення результатів в опублікованих працях.**

Результати роботи викладені у 20 наукових публікаціях, з них 2 статті - у журналах, включених до науково-метричних баз Scopus та Web of Science, 6 статей у фахових наукових виданнях України, 2 патенти на корисні моделі, 10 тез конференцій.



Результати роботи доповідались і були схвалені на 13 наукових конференціях, семінарах та симпозиумах різного рівня.

## **7. Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому.**

У *вступі* обґрунтовано доцільність проведення досліджень та актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і завдання дослідження, окреслено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, виділено особистий внесок здобувача та інформацію про впровадження наукових розробок. Наведено дані щодо апробації результатів науково-практичних пошуків та публікації, що відображають основний зміст дисертаційної роботи.

У *першому розділі* автором проаналізовано стан проблеми. Проведений аналіз технологічних методів зміцнення поверхневого шару конструктивних концентраторів напружень для забезпечення параметрів якості оброблених поверхонь. Розглянуто вплив стану поверхні та поверхневого шару на їх експлуатаційні властивості виробів. В рамках дослідження виконано аналіз проблем, які заважають розповсюдженню адитивних технологій та порошкових матеріалів для авіації та машинобудування, а також виявленні можливі шляхів їх усунення. Для цього виконано аналіз можливості застосування методів поверхнево-пластичного деформування для розширення сфери застосування адитивних технологій при виробництві деталей газотурбінних двигунів літальних апаратів. Сформульовано мету та задачі дослідження.

У *другому розділі* представлено методологію теоретичних та експериментальних досліджень, розроблене обладнання і спорядження, яке використовувалось для проведення експериментів.

*Третій розділ* присвячено встановленню особливостей процесу зміцнення алмазним вигладжуванням конструктивних концентраторів напружень деталей, виготовлених з жароміцного сплаву ЭП609-Ш. Вивчено вплив параметрів алмазного вигладжування на показники якості поверхні та поверхневого шару деталей, виготовлених із даного сплаву. Визначено ефективність застосування раціонального редиму алмазного вигладжування на опір втомі зразків. Виконано дослідження впливу режимних параметрів алмазного вигладжування на ефективність зміцнення конструктивних концентраторів напружень типу

«Поверхня поєднання двох діаметрів» або «Поверхня переходу отвору у площину».

У *четвертому розділі* досліджено можливість застосування алмазного вигладжування для розширення сфери застосування селективного лазерного спікання, використовувати зміцнення поверхневого шару місць концентрації напружень алмазним вигладжуванням.

Представлено отримані результати експериментальних досліджень з формування властивостей зміцнених шарів, параметрів якості оброблених поверхонь алмазним вигладжуванням деталей отриманих селективним лазерним спіканням із сплаву на основі алюмінідів титану OX45-3ODS та нікелевого сплаву INCONEL 718. Розроблені регресійні рівняння щодо визначення шорсткості та ступені деформаційного зміцнення під час алмазного вигладжування зазначених деталей.

Визначено вплив алмазного вигладжування на залишкову пористість у поверхневому шарі. Встановлено раціональні режимні параметри алмазного вигладжування деталей зі сплаву на основі алюмініду титана OX45-3ODS, отриманих селективним лазерним спіканням, при яких залишкова пористість буде мінімальною.

У п'ятому розділі виконано всебічна оцінка ефектів від комерційного застосування технології селективного лазерного спікання з подальшим зміцнення алмазним вигладжуванням. Виконано розрахунок економічної ефективності застосування селективного лазерного спікання та алмазного вигладжування при виробництві деталей ГТД літальних апаратів. Визначено вплив алмазного вигладжування на статичний запас міцності конструктивних концентраторів напружень деталей, виготовлених селективним лазерним спіканням.

У висновках сформульовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

**Список використаних джерел** складається з 118 джерел, які є інформативними та достатньо повно охоплюють предметну галузь, відображають опрацювання здобувачем значної кількості сучасних іноземних джерел. Більша частина посилань зроблена на статті дослідників, опублікованих у провідних журналах та



матеріалах конференцій.

У додатки винесені відомості про впровадження результатів роботи та перелік основних публікацій здобувача.

**Оцінка змісту дисертації.** Робота, має всі необхідні для дисертації розділи, які достатньо повно розкривають виконану автором роботу – від ґрунтовного аналізу існуючих теоретичних та технічних рішень до конкретних рекомендацій та інженерних методик застосування. Стиль викладення дисертації відповідає вимогам, що встановлені до кандидатських дисертацій.

#### **8. Зауваження по змісту і оформленню дисертації.**

1. При аналізі причин руйнування деталей газотурбінних двигунів літальних апаратів автором не вказано відсоткове співвідношення випадків руйнувань, спричинених дією різних конструктивних концентраторів напружень.

2. Технологія алмазного вигладжування, розглянута у дисертаційній роботі, застосована тільки для покращення якості деталей газотурбінних двигунів літальних апаратів. Бажано було б дослідити раціональність її застосування для інших об'єктів машинобудівної галузі.

3. У четвертому розділі при оцінці пористості поверхневого шару автором використана оцінка пористості за середнім значенням. Однак при порівнянні впливу режимів обробки потрібно також додатково оцінювати середнє квадратичне відхилення величини що визначається.

4. У п'ятому розділі дисертаційної роботи при розрахунку економічного ефекту та порівнянні традиційної схеми виготовлення деталі типу «Диск» з альтернативною відсутнє обґрунтування вибору кількості обладнання.

5. Слід також зауважити, що під час досліджень отримані нові технічні рішення (пристрій, що дозволяє виконувати алмазне вигладжування площинних поверхонь на верстатах з числовим програмним керуванням), які варто було б запатентувати.

**Висновок.** На підставі аналізу дисертаційної роботи Вишнепольського Є.В. «Підвищення якості деталей газотурбінних двигунів, отриманих селективним лазерним спіканням, шляхом алмазного вигладжування» і опублікованих за темою

роботи праць автора вважаю, що в дисертації з достатньою повнотою обґрунтовано і вирішено актуальне науково-технічне завдання розширення сфери застосування адитивних технологій та підвищення якості поверхневого шару деталей, виготовлених з нікелевих сплавів та сплавів на основі алюмініда титану. Матеріали дисертації викладено логічно і послідовно, стиль викладу чіткий і зрозумілий. Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, які в них містяться, є ідентичними.

Зважаючи на відповідність дисертації вимогам паспорту спеціальності 05.02.08 «Технологія машинобудування» та пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», вважаю, що її автор Вишнепольський Євген Валерійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування».

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри  
робототехніки та інтегрованих  
технологій машинобудування  
Національного університету  
«Львівська політехніка», д. т. н., проф.

Вадим СТУПНИЦЬКИЙ

Підпис проф. Ступницького В.В.

Засвідчую

Вчений секретар НУ «Львівська

Політехніка», доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ