

Відгук

офіційного опонента Скоркіна Антона Олеговича
на дисертаційну роботу Степанова Дмитра Миколайовича
**«Технологічні особливості забезпечення якості та продуктивності
обробки складнопрофільних і тонкостінних деталей полімерно-
абразивними інструментами»**,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Актуальність теми.

Одним з найвиживіших питань на машинобудівних підприємствах є питання підвищення якості оброблюваних поверхонь деталей, а також продуктивності фінішного етапу технологічного процесу їх виготовлення, особливо на підприємствах авіадвигунобудівної галузі де упор робиться на мінімізацію маси деталей без втрати міцності і переважають тонкостінні деталі складних просторових форм, виготовлені з важкооброблюємих матеріалів. Фінішна обробка таких деталей вимагає великих витрат для конструювання і виробництва спеціального технологічного оснащення і устаткування або застосування ручної праці різного ступеня важкості і складності, яка до того ж є тривалою та монотонною і вимагає високої кваліфікації слюсаря. До того ж такі деталі не можна піддавати високим силовим навантаженням.

Застосування відносно нового щіткового інструменту обертальної дії на основі полімерно-абразивних волокон для фінішно-оздоблювальної обробки дає можливість досягати високої якості оброблених поверхонь, видаляти задирки і округляти гострі краї.

На сьогодні недостатньо науково обгрунтованої інформації і експериментально апробованих технологічних рекомендацій щодо їх раціонального використання для фінішної обробки таких деталей і матеріалів.

Тому визначення взаємозв'язку якості і продуктивності фінішної обробки з режимами різання і параметрами полімерно-абразивних щіток, зі збереженням їх працездатного стану, розширення сфер ефективного застосування ПАЩ, можливості механізації операцій і розробка технологічних рекомендацій по застосуванню цього виду інструментів на оздоблювальному етапі виготовлення тонкостінних і складнопрофільних деталей з різних матеріалів, є актуальним науково-технічним завданням сучасного машинобудування.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням держбюджетних тем: ДБ 01212 від 28.01.2012 р. «Підвищення продуктивності фінішних операцій якісної обробки тонкостінних і складнопрофільних виробів з різних матеріалів полімерно-абразивним інструментом» (ДР № 0112U002020); ДБ 02815 від 06.02.2015 р. «Розробка ефективних технологій застосування полімерно-абразивних

інструментів (ПАІ) при обробці тонкостінних деталей із сталей і сплавів на основі нікелю, титану і алюмінію» (ДР № 0115U002568) і науково-дослідних робіт між університетом і АТ «Мотор Січ»: НТР №3117/2141/07-Д (УГТ) від 23.02.2007 р. «Дослідження процесу обробки деталей ГТД інструментом на основі полімерно-абразивних волокон і розробка технологічних рекомендацій» (ДР № 0108U001603), НТР № 1212 (КТУ) від 18.06.2012 р. «Механізація слюсарних операцій щодо видалення задирок і заокругленню гострих крайок хвостовиків лопаток ГТД полімерно-абразивним інструментом», а також НТР №3219 між ЗНТУ і ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес» від 16.07.2009 р. «Розробка технології обробки складнопрофільних деталей ГТД з жароміцних нікелевих і титанових сплавів інструментом на основі полімерно-абразивних волокон» (ДР № 011U001146)

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Степанова Д.М. є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, і якісному формулюванні отриманих висновків. Методи досліджень включали: методи інженерної механіки – для дослідження властивостей поверхневого шару та визначення температур і сил в зоні обробки; металографічні методи – для дослідження рівня шаржування поверхні; методи математичної статистики – для обробки результатів випробувань і побудови математичних залежностей; чисельні методи – для розрахунку напружено-деформованого стану зразка та визначення силової дії на оброблювану поверхню.

Аналіз висновків та отриманих результатів роботи показує, що дисертація Степанова Д.М. має внутрішню єдність, містить обґрунтовані і достовірні наукові положення. Висновки по розділах відображують отримані результати та логіку досліджень.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність наукових результатів і висновків, що сформульовані у дисертації, забезпечена проведенням значної кількості експериментальних досліджень, а також впровадженням результатів роботи у виробництво.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- вперше встановлено закономірності зміни параметрів якості і раціональні режими різання для обробки ПАЩ різних матеріалів на підставі комплексного дослідження характеристик поверхневого шару і впливу на них технологічних чинників у взаємозв'язку з певною послідовністю застосування ПАЩ з різними характеристиками;

- вперше запропоновано метод визначення температури розм'якшення і плавлення волокон для регламентації температурного обмеження роботи з

щітковими інструментами важкооброблюваних жароміцних сплавів, що дозволяє зберігати працездатний стан щіток.

- вперше обґрунтовано умови силової взаємодії при обробці полімерно-абразивними щітками, що при зосередженій локальній ударній дії є достатнім для отримання зміцнюючого ефекту, тому такий вид фінішної обробки можна рекомендувати для тонкостінних деталей.

- вперше експериментально підтверджено математичні моделі температурного і силового впливу на оброблювану поверхню, що дозволяє прогнозувати рівень температурної і силової дії на оброблювану поверхню.

- вперше запропоновано комбінувати ПАЩ різних видів як послідовно, так і одночасно для досягнення необхідної якості і високої продуктивності.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Найбільш вагомим науковим результатом дисертації вважаю те, що в результаті експериментальних досліджень і моделювання процесу обробки тонкостінних і складнопрофільних деталей полімерно-абразивним щітковим інструментом було розроблено технологічні рекомендації по використанню ПАЩ (що включають раціональні режими і умови обробки, параметри інструментів і обмеження), які дозволяють забезпечити високу якість і продуктивність на фінішному етапі обробки поверхонь, задирок і гострих крайок тонкостінних і складнопрофільних деталей виготовлених з різних матеріалів, а також застосування цього виду інструментів у ремонтному виробництві для зняття нагару, термопокриття, видалення задирок із складнопрофільних поверхонь і крайок, а також зняття окисних плівок, травленого шару і покриттів тонкостінних деталей складних просторових форм.

Практичне використання підтверджено актами впровадження у виробництво для обробки дисків і лопаток ГТД, зубчатих коліс, корпусів на ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес» (м. Запоріжжя) та у навчальний процес Національного університету «Запорізька політехніка».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 34 наукових публікаціях, з них: 2 монографії (у співавторстві), 14 статей у наукових фахових виданнях України, 1 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 2 патенти України, 15 – у матеріалах конференцій. В роботах, що надруковані в співавторстві, виділено особистий внесок здобувача. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Степанова Дмитра Миколайовича складається з анотації двома мовами, переліку умовних позначень, символів, одиниць вимірювання, скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку

використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 222 сторінки, з них 91 рисунок по тексту; 13 рисунків на 10 окремих сторінках; 24 таблиці по тексту; 6 таблиць на 8 окремих сторінках; списку використаних джерел з 135 найменування на 13 сторінках, 10 додатків на 31 сторінці.

У вступі автор обґрунтовує актуальність обраного для дослідження напрямку, формулює мету і задачі дослідження, наукову новизну, приводить дані про апробацію роботи, її практичну цінність.

У першому розділі проведено аналіз відомих на даний момент методів і інструментів фінішної обробки для тонкостінних і складнопрофільних деталей. Встановлено, що гідною альтернативою є застосування щіткових інструментів обертальної дії на основі полімерно-абразивних волокон. За результатами аналізу наукової літератури, присвяченої дослідженню впливу різних чинників на ефективність, продуктивність, працездатність ПАЩ, на якість оброблених за їх допомогою поверхонь деталей, встановлено, що через те, що ПАЩ відносно нещодавно з'явилися на ринку інструментів, інформація щодо них загальна, іноді суперечлива, деякі теоретичні викладення не отримали необхідного експериментального підтвердження, детальних рекомендацій застосування ПАЩ для обробки тонкостінних деталей або певних важкооброблюваних матеріалів немає, як і досліджень властивостей поверхневого шару деталей після обробки ПАЩ. У зв'язку з недостатністю технічної і технологічної інформації є необхідним проведення подальшого вивчення ПАЩ з точки зору обробки тонкостінних виробів складного профілю, виконаних у тому числі з важкооброблюваних матеріалів, для чого були сформульовані основні завдання дослідження і була розроблена структурно-логічна схема дисертаційної роботи.

У другому розділі описано основні методичні прийоми вивчення параметрів якості поверхні і властивостей поверхневого шару після фінішно-оздоблювальної обробки ПАЩ. Приведено ескізи зразків для випробувань, а також основні умови проведення експериментів, устаткування, оброблювані матеріали і різноманітні ПАЩ, використовувані в роботі. Описано спосіб відновлення різальних властивостей ПАЩ. Проведено порівняння взаємодії абразивних зерен, закріплених жорстко і пружно, а також картину обробленої поверхні на поперечній подачі. Проаналізовані відмінності отриманих зон постконтактних поверхонь на зразках. Розроблено методику взаємодії «ПАЩ-зразок» в динамічному модулі ANSYS LS-DYNA, що дозволило провести аналіз впливу параметрів ПАЩ і режимів обробки на напружено-деформований стан системи «інструмент-зразок» за допомогою нелінійного аналізу пакету ANSYS (модуль LS-DYNA).

У третьому розділі проведено дослідження впливу режимів і умов обробки, а також параметрів ПАЩ на одержувану шорсткість поверхні; визначено раціональні режими обробки і параметри ПАЩ (виліт L і діаметр $d_{\text{в}}$ волокон, зернистість F і матеріал абразиву ПАЩ; подача S , натяг i , швидкість V і кількість подвійних ходів N , ЗОТС) відповідно до поставленої мети фінішної обробки для зразків з різних матеріалів, а також для

комбінованої обробки ПАЩ. Встановлено наявність зміцнювального ефекту, зокрема, наведення сприятливих властивостей поверхневого шару на глибині до 20...50 мкм при обробці дисковими ПАЩ на раціональних режимах: ступінь поверхневого наклепу досягала 12...15%, стискаючі залишкові напруження $-175...-40$ МПа. Проведено статистичну обробку отриманих даних, яка підтвердила раніше передбачувану відмінність впливу ПАЩ з різним вилітом волокон – коротким ($L=8$ мм) і довгим ($L=32$ мм). Визначено режими, варіюючи якими можна значно впливати на параметри якості поверхневого шару – за значимістю: натяг i , швидкість V , подача S . Проведено оцінку ступеня шаржування поверхні неметалічними включеннями після обробки ПАЩ, яка показала, що невисокого силового і теплового впливу ПА волокон недостатньо для глибокого вдавнення абразивних частинок в поверхню, тому шаржування практично не відбувається. Також встановлено раціональні режими ($V=15...18$ м/с, $S_{np}=1$ м/хв, $i=1,5...2$ мм, $N=3...7$ подв.х.) і параметри ПАЩ ($L=30$ мм і більше, $d\phi=1$ мм) для якісного видалення задирок і заокруглення гострих крайок складних геометричних форм ПА щітками.

У четвертому розділі розроблено пристрій і методику визначення критичних температур розм'якшення і плавлення полімерно-абразивних волокон, що безпосередньо впливають на їх працездатний стан. Пристрій простої конструкції дозволяє перевіряти термостійкість дроту, волокон, проводів з різних матеріалів. Температура розм'якшення досліджених ПА волокон різних фірм-виробників, при якій знижуються експлуатаційні властивості волокон, складала $55...120$ °С. Запропоновано методику і розроблено пристрій, що дозволяє вимірювати температуру в зоні контакту щітки і зразка при обробці ПАЩ. Для матеріалів, що мають різні теплофізичні властивості (сталі, алюмінієві, титанові і нікелеві сплави), визначено обмеження щодо режимів обробки і параметрів ПАЩ. Підтверджено невисокий рівень теплового впливу на зразок (менше 80 °С) при застосуванні раціональних режимів і умов обробки. Для одиничного волокна було визначено радіальну силу першого удару при вході в контакт зі зразком за допомогою аналітичного розрахунку, комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень. Вона складала $0,65...1,3$ Н, що при зосередженій локальній ударній дії є достатнім для отримання зміцнювального ефекту. Для вивчення силового впливу ПАЩ розроблено оригінальний динамометр, який можна використовувати для вимірювання постійних сил, що діють на зразок, але особливу цінність він має при вимірюванні змінних зусиль, особливо, які змінюються в короткі проміжки часу. Встановлено, що при обробленні на досліджених діапазонах режимів дискові ПАЩ не мають значного силового впливу на оброблювану поверхню (не більш 100 Н), тому такий вид фінішної обробки можна рекомендувати для тонкостінних деталей.

У п'ятому розділі розроблено оригінальні спеціальні і універсальні пристосування для закріплення деталей ГТД специфічної форми і обробки їх ПА щітками. Розроблені технологічні рекомендації щодо застосування ПАЩ

для фінішної обробки тонкостінних складнопрофільних деталей з різних, у тому числі і важкооброблюваних, матеріалів можна без доопрацювання включати в технологічні процеси виготовлення і ремонтного відновлення: дисків ГТД, лопаток ГТД, зубчастих коліс, «зірочок», корпусів, радіаторів тощо з метою підвищення ефективності фінішної обробки вищеприказаних і подібних до них деталей. Застосування ПАЩ для досліджених складнопрофільних і тонкостінних деталей скорочує час фінішної обробки в 2...10 разів, собівартість операцій в 2...4 рази. Також більшість операцій були механізовані, що дало можливість повністю відмовитися від ручної праці або значно скоротити її частку від загальної тривалості фінішного етапу виготовлення або ремонту деталей.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 135 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В авторефераті (сторінка 7 рисунок 2) не зрозуміло, які саме ділянки досліджуваного зразка на напружено-деформований стан є критичними.

2. В дисертаційній роботі автор не навів обґрунтування вибору в якості інструменту для дослідження саме полімерно-абразивні щітки з матеріалом абразивного наповнювача – електрокорунд нормальний 14А і карбід кремнію 63С. Хоча не менш поширеним є використання абразивного наповнювача – карбід бору, мінерал 3М, алмазний порошок.

3. В дисертаційній роботі доцільно було б зробити більш глибокий порівняльний аналіз існуючих полімерно-абразивних інструментів таких фірм виробників як 3М («Minnesota Mining and Manufacturing Company») (США), С.Hilzinger-Thum (Німеччина) «August Ruggeberg PFERD–Werkzeuge» (Німеччина), Friedrich August Picard (Німеччина), Abtex Corporation (Німеччина).

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Степанова Дмитра Миколайовича «Технологічні особливості забезпечення якості і продуктивності обробки складнопрофільних і тонкостінних деталей полімерно-абразивними інструментами», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування, є завершеною науково-дослідною роботою і містить нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну науково-технічну задачу підвищення якості і продуктивності фінішної обробки тонкостінних і складнопрофільних деталей з різних матеріалів шляхом застосування

щіткових інструментів обертальної дії на основі полімерно-абразивних волокон, і має суттєве значення для машинобудування України. Робота повністю відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Степанов Дмитро Миколайович, заслуговує присудження наукового ступеню кандидат технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Кандидат технічних наук,
доцент кафедри
«Машинобудування та транспорту»
Української інженерно-педагогічної академії



Скоркін А.О.

Прийнято <u>А.О. Скоркін</u>	Завіряю
Інспектор ВК УІПА	
<u>13.11.2019</u>	дата