

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 58.052.003
Тернопільського національного
технічного університету ім. І. Пулюя
доктору технічних наук, професору
Ляшуку Олегу Леонтійовичу

**ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

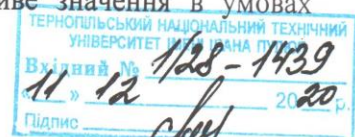
кандидата технічних наук, доцента кафедри зварювання Івано-Франківського
національного технічного університету нафти і газу

Бішака Романа Теодоровича

на дисертаційну роботу Дивдика Олександра Васильовича
на тему «Підвищення залишкової довговічності елементів авіаційних
конструкцій пластичним деформуванням матеріалу в околі отворів»
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 131 Прикладна механіка

**1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими
планами і програмами**

1.1. В реальних умовах експлуатації конструкційні елементи машин і механізмів, в більшості випадків, працюють під дією нерегулярного навантаження. Важливою є задача оцінки довговічності на етапі проектування і залишкового ресурсу машин з наявними пошкодженнями (втомними тріщинами) в елементах конструкцій з підвищеними вимогами до безпечної експлуатації. Проблема втоми матеріалів і конструкцій набула особливого значення завдяки швидкому розвитку багатьох галузей промисловості, таких як авіабудування, автомобільне і машинобудування. Високі вимоги до надійності конструкцій їх безпечної експлуатації мають особливе значення в умовах циклічного навантаження і високих напружень.



Отже, означенні обставини обумовлюють актуальність науково-технічної проблеми підвищення залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій з концентраторами напружень. Важливим з точки зору теорії і практики є наукове завдання оцінювання залишкової довговічності конструктивних елементів з експлуатаційними пошкодженнями (втомними тріщинами) в околі функціональних і кріпильних отворів з підвищеними вимогами до безпечної експлуатації.

1.2. Дослідження виконувались у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя в рамках бюджетної теми згідно з тематичними планами наукових досліджень, де автор був виконавцем: «Методологія оцінювання довговічності і продовження ресурсу елементів авіаційних конструкцій з експлуатаційними пошкодженнями біля кріпильних отворів» (№ держреєстрації: 0118U003479, 2017 - 2020 р).

2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

2.1. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і один додаток.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв'язок роботи з науково-дослідною темою, поставлено мету та визначено завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувались для досягнення мети дисертаційної роботи. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий творчий внесок здобувача. Подано відомості щодо апробації та опублікування результатів дослідження.

У першому розділі зроблено огляд праць за темою дисертації та подано стислий аналіз сучасного стану проблеми. Проаналізовано методи підвищення довговічності і залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій з концентраторами напружень.

У другому розділі описано методики дослідження росту втомних тріщин і залишкової довговічності пластин із зміцненими отворами з набутими

втомними пошкодженнями за сталої амплітуди навантаження, моделювання методом скінчених елементів (МСЕ) напружено-деформованого стану пластин з отворами під час технологічної обробки. Розроблено технологію і методику дорнування алюмінієвих пластин з набутими втомними пошкодженнями в околі функціональних отворів, відповідний інструмент для дорнування, а також необхідну оснастку, які захищені патентами на інтелектуальну власність. Методика реалізована на базі сервогідравлічної випробувальної машини СТМ-100 з керуванням від ПК і автоматизованою обробкою вимірювальних даних.

У *третьому розділі* описано результати моделювання МСЕ механічної поведінки матеріалів з ефектом пам'яті форми та моделювання полів напружень і залишкових напружень в пластинах в околі отворів. Визначено розподіл полів залишкових стискувальних напружень після відносного розширення отвору дорнуванням і комбінованим дорнуванням. Досліджено вплив відносного розширення отворів на розподіл залишкових напружень в околі отворів різного діаметру. МСЕ змодельовано вплив циклічного навантаження на механічну поведінку і функціональні властивості псевдопружного Ni-Ti сплаву з пам'яттю форми за одновісного розтягу. Отримано апроксимаційні залежності між напруженням і деформацією за верхньою огинаючою та усередним значеннями діаграми деформування. Встановлено, що за однакового відносного розширення отвору незалежно від типу дорнування залишкові напруження на його поверхні і в середній по товщині ділянці зменшуються із збільшенням діаметра отвору. Досліджено, що незалежно від діаметру отвору, методу і типу дорнування розрахункові стискувальні залишкові напруження максимальні в середній по товщині ділянці зразка і найменші на поверхні.

У *четвертому розділі* описано основні закономірності впливу натягу дорнування на залишкову довговічність алюмінієвих пластин з попередніми втомними пошкодженнями в околі функціональних отворів. Досліджено вплив дорнування і комбінованого дорнування на кінетику росту втомних тріщин за сталої амплітуди навантаження. Обґрунтовано параметри дорнування і

комбінованого дорнування за критеріями максимальної залишкової довговічності. Обґрунтовано більшу ефективність методу комбінованого дорнування пластин із алюмінієвого сплаву Д16чТ з втомними пошкодженнями в околі отвору порівняно із дорнуванням.

Висновки містять розгорнутий перелік основних результатів та рекомендацій одержаних у дисертації.

Додатки містять акт впровадження результатів дисертації.

2.2. В цілому наукові результати належним чином обґрунтовані. Обґрунтованість забезпечується коректністю постановки задач досліджень, використанням апробованих положень механіки деформівного твердого тіла, механіки руйнування, механіки втомного руйнування та методу скінченних елементів.

3. Наукова новизна одержаних результатів

3.1 Підтверджую, що наукову новизну одержаних результатів дисертаційної роботи Дивдика О.В. складають:

1) розроблено оригінальні методики підвищення залишкової довговічності конструкцій з концентраторами напруження шляхом комбінованого пружно-пластичного деформування отворів та з використанням робочих інструментів з пам'яттю форми;

2) з використанням МСЕ встановлено основні закономірності впливу натягу дорнування та комбінованого дорнування на розподіл полів напружень та залишкових напружень в околі отворів різного діаметру;

3) виявлено основні закономірності впливу натягу дорнування і комбінованого дорнування отворів в пластинах із алюмінієвого сплаву Д16чТ із попереднім втомним пошкодженням на кінетику росту втомних тріщин і залишкову довговічність;

4) обґрунтовано параметри дорнування та комбінованого дорнування отворів в пластинах із алюмінієвого сплаву Д16чТ з попереднім втомним пошкодженням за критерієм залишкової довговічності та доведено більшу ефективність методу комбінованого дорнування порівняно із дорнуванням.

3.2. Вважаю, що наукові результати здобувача є вагомим внеском у розвиток методик підвищення залишкової довговічності конструкцій з концентраторами напружень. Розроблена методика надає нові можливості в дослідженні і впровадженні результатів на авіаційних підприємствах для підвищення залишкового ресурсу елементів конструкцій з експлуатаційними пошкодженнями в околі функціональних чи кріпильних отворів.

4. Достовірність отриманих результатів і висновків

Достовірність отриманих результатів підтверджується:

- використанням відомих і загальноживаних підходів механіки деформівного твердого тіла;
- використанням сертифікованої модернізованої електрогідравлічної машини СТМ-100 керованої ПК з автоматизованою обробкою даних;
- застосуванням чисельного моделювання напружено-деформованого стану з використанням програмного комплексу ANSYS Workbench і задовільним узгодженням результатів обчислень із експериментальними і чисельними даними інших авторів;
- результатами відповідної апробації у періодичних виданнях та оприлюдненнях на міжнародних конференціях.

5. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях

5.1. *Оформлення дисертації.* Дисертаційну роботу викладено на 169 сторінках друкованого тексту в тому числі 111 рисунків та 15 таблиць, список використаних джерел складає 145 найменувань. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним атестаційним вимогам.

5.2. *Дотримання вимог академічної доброчесності.* Проведена перевірка дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових

запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

5.3. Повнота викладу результатів в опублікованих працях. Основні результати дисертації опубліковано у 15 наукових працях, серед яких 2 статті у фахових виданнях з переліку МОН України категорії Б, одна входить у перелік категорії А, яка індексується у наукометричній базі Scopus, 9 в тезах і матеріалах доповідей науково-технічних конференцій. Розроблено 3 патенти на корисну модель. Ці наукові результати відповідають вимогам п.11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167.

6. Наукове та практичне значення результатів дисертаційної роботи

Наукове значення одержаних в роботі результатів полягає у виявленні основних закономірностей впливу натягу дорнування і комбінованого дорнування отворів в пластинах із алюмінієвого сплаву Д16чТ із попереднім втомним пошкодженням на кінетику росту втомних тріщин і залишкову довговічність.

Важливим науковим та прикладним результатом є обґрунтування параметрів дорнування та комбінованого дорнування отворів в пластинах із алюмінієвого сплаву Д16чТ з попереднім втомним пошкодженням за критерієм залишкової довговічності та доведено більшу ефективність методу комбінованого дорнування порівняно із дорнуванням.

Практичне значення результатів досліджень в частині виявлених основних закономірностей впливу натягу дорнування на залишкову довговічність елементів авіаційних конструкцій із алюмінієвого сплаву Д16чТ з експлуатаційними пошкодженнями біля кріпильних отворів, а також методики підвищення ефективності холодного розширення отворів в пластинах, яка основана на комбінованому дорнуванні, можуть бути використані при продовженні ресурсу експлуатованих авіаційних конструкцій. Результати

досліджень, також, можуть бути включені до рекомендацій з ремонту і відновлення конструкцій літаків АН та проектування високонавантажених з'єднань силових деталей конструкцій.

7. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації

1. З роботи не зрозуміло чи допускаються короткі втомні тріщини в околі заклепочних з'єднань нормативними документами, що регламентують ресурс авіаконструкцій. Доцільно було б виконати порівняння результатів впливу пропонуваного режиму дорнування на зародження коротких втомних тріщин з літературними даними для сплавів-аналогів, наприклад 2024-T351.

2. Бажано було узагальнити оптимальні технологічні режими статичного та комбінованого дорнування отворів у алюмінієвому сплаві Д16чТ у вихідному та експлуатованому станах, у вигляді таблиці, або гістограми, щоб забезпечило їх інженерне використання та попереднє оцінювання циклічної довговічності.

3. У дисертації наведений, як додаток акт впровадження результатів наукових досліджень. На мою думку, додатки варто було б розширити з приведенням інформації, яка була б пояснювальним матеріалом для основної частини дисертаційної роботи, щодо застосування в навчальному процесі та іншого застосування результатів, які отримані в дисертації.

Слід зазначити, що усі відмічені недоліки не знижують високого наукового рівня та практичної цінності результатів дисертаційного дослідження здобувача.

8. Висновки

7.1. *Представлена дисертація є завершеною науковою працею, у якій отримано нові наукові обґрунтовані результати.* У дисертації розв'язано важливе наукове завдання з підвищення залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій з втомними пошкодженнями біля кріпильних отворів.

7.2. *Одержані наукові та прикладні результати є вагомим внеском у розвиток методик підвищення ефективності холодного розширення отворів в пластинах, які засновані на комбінованому дорнуванні та можуть бути*

застосовані на авіаційних підприємствах для підвищення залишкового ресурсу елементів конструкцій з експлуатаційними пошкодженнями в околі функціональних чи кріпильних отворів. Зміст роботи повністю відповідає спеціальності 131 Прикладна механіка.

7.3. Отже, дисертаційна робота за ступенем актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизни, повноти викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутності порушень академічної доброчесності, цілком відповідає пунктам 9-12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167, а її автор, Дивдик Олександр Васильович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 Прикладна механіка.

Офіційний опонент:

доцент кафедри зварювання
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
кандидат технічних наук

 Р.Т. Біщак

Підпис Біщака Р.Т. засвідчую
вчений секретар
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
кандидат технічних наук, доцент



 В.Р. Процюк