

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**

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри експлуатації та ремонту
автомобільної техніки національного університету «Львівська політехніка»

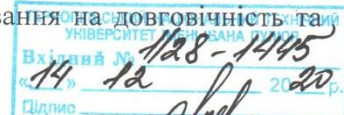
Кіндрацького Богдана Ілліча

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**

У реальних умовах експлуатації конструкційні елементи машин і механізмів,
переважно, працюють під дією нерегулярного навантаження. Важливою є задача
оцінювання довговічності таких елементів на стадії проектування і залишкового
ресурсу машин з наявними пошкодженнями (втомними тріщинами) в елементах
конструкцій з підвищеними вимогами до безпечної експлуатації.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню залишкової довговічності
елементів авіаційних конструкцій пластичним деформуванням матеріалу в околі
отворів. Розглянуто використання сплавів з пам'яттю форми для зміцнення отворів
відносним розширенням та вплив комбінованого дорнування на довговічність та



відносну довговічність, виконано порівняння отриманих результатів з відомими методами підвищення довговічності.

Досліджено закономірності впливу натягу дорнування пластин з алюмінієвого сплаву і сталі з втомними пошкодженнями в околі отвору на поширення тріщин за сталої і змінної амплітуди навантаження. Обґрунтовано початкову довжину кутової тріщини розміром 1,27 мм, яка може бути достовірно виявлена методами неруйнівного контролю. На основі експериментальних досліджень і тривимірного моделювання методом скінченних елементів виявлено істотний вплив дорнування на розподіл залишкових напружень по товщині пластини та адекватність моделі рівномірного розширення отвору. З'ясовано основні закономірності впливу деформаційного зміцнення на напружено-деформований стан в околі отворів.

Тема дисертації Дивдика Олександра Васильовича відповідає перспективним напрямкам розвитку науки і техніки України. Актуальність теми підтверджується її зв'язком з тематичними планами наукових досліджень кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – «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 у дисертації

Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 169 сторінок, в тому числі 111 рисунків, 15 таблиць, список використаних джерел складає 145 найменувань, структура роботи є логічною і сприяє розкриттю теми дослідження та висвітленню результатів розв'язання поставлених задач.

Метою роботи є підвищення залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій з втомними пошкодженнями біля кріпильних отворів. Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовано і розв'язано такі задачі:

– опрацювати методики холодного зміцнення отворів з втомними пошкодженнями дорнуванням та комбінованим дорнуванням (дорнування з одночасним накладанням циклічної складової);

– розробити методики дослідження впливу дорнування та комбінованого дорнування отворів з втомними пошкодженнями на залишкову довговічність та швидкість росту втомної тріщини;

– з використанням МСЕ виявити основні закономірності впливу натягу дорнування на розподіл полів напружень і залишкових напружень в елементах авіаційних конструкцій з отворами різного діаметра;

– дослідити вплив натягу дорнування і комбінованого дорнування на залишкове розкриття тріщини біля отворів різного діаметра;

– виявити основні закономірності впливу натягу дорнування і комбінованого дорнування отворів різного діаметра з втомними пошкодженнями на кінетику розвитку втомних тріщин за одновісного та комбінованого розтягу пластини;

– дослідити основні закономірності впливу натягу дорнування і комбінованого дорнування пластин з отворами різного діаметра з втомними пошкодженнями на їхню залишкову довговічність.

Наукова задача, розв'язанню якої присвячена дисертація, розкрита комплексно та обґрунтовано, автором проаналізовані наукові та експертні публікації щодо тематики цього дослідження, зміст роботи та наукові публікації автора за темою дисертаційного дослідження засвідчують належний та достатній рівень обґрунтованості отриманих результатів і вказують на їхню достовірність.

Відповідно до мети дослідження – підвищення залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій пластичним деформуванням матеріалу в околі отворів – дисертантом було сформульовано та вирішено шість завдань, на які було дано розширені відповіді.

Результати проведених досліджень за тематикою дисертаційної роботи опубліковані в 15 друкованих працях. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, наведених в дисертації, підтверджується їх апробацією на 9 наукових та науково-технічних конференціях, 3 публікаціях в українських

журналах, з них – 2 статті у фахових виданнях з переліку МОН України категорії Б, одна входить у перелік категорії А. Отримано 3 патенти на корисну модель та використано їх у процесі дослідження.

3. Наукова новизна одержаних результатів

До результатів, що мають наукову новизну, можна віднести:

– розроблено оригінальні методи і опрацьовані технології підвищення залишкової довговічності конструкцій з концентраторами напруження, що ґрунтуються на комбінованому пружно-пластичному деформуванні отворів та використанні робочих інструментів з пам'яттю форми;

– з використанням МСЕ встановлено основні закономірності впливу параметрів дорнування та комбінованого дорнування на розподіл полів напружень та залишкових напружень в околі отворів різного діаметра;

– виявлено основні закономірності впливу натягу дорнування і комбінованого дорнування отворів у пластинах з алюмінієвого сплаву Д16чТ з попередньою втомною тріщиною на її розвиток і залишкову довговічність пластин, доведено більшу ефективність методу комбінованого дорнування порівняно з дорнуванням;

– обґрунтовано параметри дорнування і комбінованого дорнування отворів у пластинах з алюмінієвого сплаву Д16чТ з попередніми втомними пошкодженнями у вигляді тріщини за критерієм залишкової довговічності.

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

Оформлення дисертації виконано згідно з вимогами Міністерства освіти і науки України та не викликає зауважень. Ознайомлення з текстом дисертації дозволяє констатувати, що його зміст повною мірою відображає основні положення і висновки дисертаційного дослідження та не містить зайвої інформації. Загалом, робота є завершеною науковою працею, в якій отримані нові результати, що в сукупності вирішують конкретну наукову задачу – підвищення залишкової

довговічності елементів авіаційних конструкцій пластичним деформуванням матеріалу в околі отворів.

У друкованих працях, які опубліковані здобувачем, представлені:

– методика дорнування та комбінованого дорнування пластин з отворами з алюмінієвого сплаву з пошкодженнями у вигляді чвертькругової втомної тріщини з виходом на поверхню пластини;

– методика розрахунку методом скінченних елементів механічної поведінки сплавів з пам'яттю форми та полів напружень і залишкових напружень в околі зміцнених отворів різного діаметра;

– основні закономірності впливу натягу дорнування на швидкість розвитку втомних тріщин і залишкову довговічність пластин з алюмінієвого сплаву.

5. Наукове та практичне значення результатів дисертаційної роботи

У роботі вирішені питання, які мають наукове та практичне значення, а саме: розроблено оригінальний метод підвищення ефективності холодного розширення отворів у пластинах, який засновано на комбінованому дорнуванні та може бути застосований на авіаційних підприємствах для підвищення залишкового ресурсу елементів конструкцій з експлуатаційними пошкодженнями в околі функціональних чи кріпильних отворів. Результати дисертаційної роботи рекомендується для практичного використання при підвищенні залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій з концентраторами напружень. Методи дослідження впливу натягу дорнування на кінетику росту втомних тріщин та залишкову довговічність базуються на підходах механіки деформівного твердого тіла, механіки руйнування, механіки втомного руйнування та методі скінченних елементів.

Достовірність здобутих результатів підтверджується використанням сертифікованої модернізованої електрогідравлічної машини СТМ-100, керованої ПК з автоматизованим опрацюванням даних, стереоскопічного мікроскопа для спостереження за ростом тріщини, що дало змогу отримати необхідну точність і достовірність результатів експериментальних досліджень, застосуванням чисельного моделювання напружено-деформованого стану з використанням

програмного комплексу ANSYS Workbench, задовільним узгодженням результатів обчислень з експериментальними і чисельними даними інших авторів.

Практичне значення результатів досліджень, у частині виявлених основних закономірностей впливу натягу дорнування на залишкову довговічність елементів авіаційних конструкцій з алюмінієвого сплаву Д16чТ з експлуатаційними пошкодженнями біля кріпильних отворів, а також методу підвищення ефективності холодного розширення отворів у пластинах, який ґрунтується на комбінованому дорнуванні, полягає у тому, що вони можуть бути використані при продовженні ресурсу експлуатованих авіаційних конструкцій і відновленні конструкцій літаків АН та проектування високонавантажених з'єднань силових деталей конструкцій, що підтверджено відповідною довідкою ДП «Антонов».

6. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації

1. У роботі запропоновано методики підвищення довговічності елементів авіаційних конструкцій з попередніми втомними пошкодженнями в околі отворів, які обґрунтовано за сталої амплітуди напружень. Бажано було б провести дослідження впливу параметрів дорнування на опір росту тріщин і залишкову довговічність пластини з отворами за змінної амплітуди напруження, близької до експлуатаційного спектру навантаження авіаційних конструкцій.

2. Для обґрунтування достовірності запропонованого в роботі методу зміцнення матеріалу в околі отворів з використанням інструмента зі сплавів з пам'яттю форми порівняно ефект надпружності за чисельного моделювання та отриманий експериментально при дорнуванні. В якості побажання можна порекомендувати провести порівняння результатів отриманих МСЕ з аналогічними результатами, які отримані з прямого експерименту.

3. У роботі представлено порівняння залишкової довговічності зміцнених отворів за однакових початкових діаметрів отвору. Доцільно було б провести порівняння результатів за однакових натягів дорнування з використанням різних способів зміцнення: дорнування та комбінованого дорнування, це б дало змогу точніше оцінити переваги методу комбінованого дорнування.

4. У висновках за результатами проведених досліджень дисертант стверджує, що після дорнування отворів запропонованим методом залишкова довговічність пластин істотно збільшується. Бажано уточнити, на якій стадії (під час виготовлення чи експлуатації) здійснюється оброблення отворів (до появи пошкоджень чи після їх виникнення). Якщо така операція виконується на стадії виготовлення, то можна говорити про збільшення ресурсу елементів авіаційної техніки загалом, а не про їхній залишковий ресурс.

7. Висновки

Отримані Дивдиком Олександром Васильовичем наукові результати проведених досліджень щодо підвищення залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій пластичним деформуванням матеріалу в околі отворів з попередніми втомними пошкодженнями вказують на те, що мета роботи досягнута, а поставлені задачі вирішені. Представлена дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка має наукове новизну, теоретичне і прикладне значення.

На основі вивчення рукопису дисертації та враховуючи актуальність і важливість розглянутих питань, наукової новизни її автор, Дивдик Олександр Васильович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 Прикладна механіка.

Офіційний опонент:
завідувач кафедри експлуатації та
ремонту автомобільної техніки
Національного університету
«Львівська політехніка»
доктор технічних наук, професор

Б.І. Кіндрацький

Підпис Кіндрацького Б.І. засвідчую.

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»
кандидат технічних наук, доцент



Р.Б. Брилинський