

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд

за придобиване на образователната и научна степен "доктор" в област на висше образование – 5 Технически науки
професионално направление – 5.1 Машинно инженерство
докторска програма – „Строителна механика, съпротивление на материалите“

Автор: маг. инж. Петя Христофорова Даскалова, ас. катедра „ИДТТ“ ТУ-Габрово

Тема: Повишаване на уморната дълготрайност на скрепителни отвори в алуминиева сплав D16AT, посредством модифициран метод за студено разширение

Рецензент: проф. д-р инж. Стойко Атанасов Гюров, ИМСТЦХА „Акад. Ангел Балевски“ - БАН

1. Тема и актуалност на дисертационния труд

Високояката алуминиева сплав 2024-T3, аналог на D16AT намира широко приложение в авиационната индустрия поради благоприятното отношение якост/тегло. Редица детайли и възли като самолетни обшивки, панели, рамки, греди и други отговорни структурни части в самолетостроенето се сглобяват чрез *Скрепителни отвори (СО)*, които се явяват естествени концентратори на напрежения и деформации. Динамичните напрежения по време на експлоатация причиняват умора на материала, стартираща около повърхността на СО. Доказано ефективен подход за повишаване на уморната дълготрайност на алуминиеви компоненти със СО е студеното разширение на същите. Най-често използваните методи са Split Sleeve Cold Expansion (SSCE) и Split Mandrel Cold Working (SMCW). Двата метода изискват технологични цикли, съдържащи голям брой контролни операции в съчетание с тесен допуск на размера на предварително обработените СО. За преодоляване на тези недостатъци е изобретен нов модифициран вариант на метода SMCW, наречен Modified Split Mandrel Cold Working (MSMCW). Той осигурява постоянна стегнатост при относително широк допуск на първоначалният диаметър на отвора. В резултат, технологичният цикъл за СРО се редуцира, което значително редуцира времето и общите производствени разходи.

Липсват обаче достъпни литературни данни за оценка на ефективността на MSMCW за модифициране на характеристиките на

Surface integrity (SI) около отворите в корелация с уморното поведение на пулсиращ опън на пробни тела от алуминиева сплав 2024-T3.

Това обосновава формулирането от докторантката на следната основна цел на дисертационната работа: Експериментално да се оцени ефективността на новия *Модифициран метод Modified Split Mandrel Cold Working (MSMCW)* за подобряване на *Surface integrity (SI)* около *Студено разширение на отвори (CPO)* и повишаване на *Уморната дълготрайност (УД)* на конструкционни елементи от алуминиева сплав 2024-T3 в условията на относително голям допуск на предварително обработените отвори.

За постигане на целта, докторантката е предвидила да се решат следните основни задачи:

1) Систематизиране и анализ на основните подходи и реализиращите ги съвременни методи/техники за повишаване на УД на конструкционни елементи със скрепителни отвори (СО);

2) Анализ и оценка на параметрите на инструмента и устройството за реализация на MSMCW;

3) Изследване на SI на материала около CPO в аспект на разпределение на *Остатъчни напрежения (ОН)*, микротвърдост и микроструктура в пробни тела тип втулки, подложени на студено разширение, посредством MSMCW в условията на относително голям допуск на предварително обработените отвори;

4) Сравнително експериментално изследване на уморното поведение на плоски уморни пробни тела със СО от алуминиева сплав 2024-T3, подложени на студено разширение чрез MSMCW в условията на относително голям допуск на предварително обработените отвори.

Темата е актуална и дисертабилна, а задачите са в логическа последователност, уместно са подбрани, и решаването им дава гаранция за достигане на поставената цел.

2. Обзор на цитираната литература

Литературата обхваща 128 заглавия – статии, доклади, книги и интернет-сайтове. Всички източници са на латиница, обхващат периода от 1841 г. до 2022 г. Цитираните източници покриват всички аспекти на разглежданата проблематика, придружени са от задълбочени коментари, което е позволило на докторантката, да направи изводи и обобщения, точно да формулира проблема и правилно да определи целта и задачите на дисертационният труд. Това ми дава основание да твърдя, че докторантката има обширни познания по тематиката на дисертацията и познава задълбочено съвременното състояние на проблема.

3. Методика на изследване

Методологията се базира на експериментално-аналитичен подход. Тя е логически структурирана, научно обоснована и осигурява адекватна основа за постигане на целта и отговори на поставените задачи в дисертацията.

1) Пробните тела са правилно подбрани и са изработени такива за:

- Определяне на разпределението на окръжните ОН, микроструктурата и профила на микротвърдостта на материала около отворите. Те са тип втулки с номинални габаритни размери: външен диаметър $D = 32 \text{ mm}$ и височина (дебелина) $\delta = 6 \text{ mm}$. Ососиметричната им геометрия гарантира коректни експериментални резултати.

- Едномерен опън – плоски;
- Уморни тестове – плоски.

2) Използвани са следните аналитични методи:

- X-ray diffraction анализ за измерване на остатъчните напрежения;
- Оптична и електронна микроскопия;
- Измерване на микротвърдостта;
- Изследване на уморното поведение.

Дисертацията е структурирана в четири глави.

Глава 1 разглежда съвременното състояние на проблема за повишаване на уморната дълготрайност на конструкционни елементи със скрепителни отвори. Анализирани са: ролята на скрепителните отвори в индустрията; на феномена умора на материала и умора на материала около СО; разгледани са съвременните методи за повишаване на УД на конструкционни елементи със СО; методите за *Повърхностно пластично деформиране* (ППД); методите за въвеждане на полезни окръжни ОН на натиск; методите за въвеждане на полезни окръжни ОН на натиск и подобряване на SI. Главата завършва с изводи на база, на които са определени целта и задачите.

Глава 2 разглежда модифициран метод за студено разширение на СО. Проведен е анализ на базовия метод SMCW и на модифицирания Modified Split Mandrel Cold Working (MSMCW) метод. Разгледани са етапите на технологичния цикъл и проведени геометрични изчисления. Разработен е инструмент и устройство, реализиращи MSMCW метод.

Глава 3 разглежда ефективността на MSMCW метод за подобряване на Surface Integrity в пробни тела тип втулка от алуминиева сплав 2024-T3. Получените експериментални резултати за характеристиките на SI доказват, че прилагането на MSMCW в условията на обичайните за инженерната практика допуски на диаметрите на обработените отвори, значително ще

редуцира разсейването на характеристиките на SI около отворите и оттам значително ще се подобри уморното поведение.

Глава 4 разглежда ефективността на MSMCW метод за повишаване на УД на листови конструкционни елементи със СО от алуминиева сплав 2024-T3 с оглед на приложението им в самолетостроенето. Сравнителното експериментално изследване на уморното поведение на пулсиращ цикъл потвърждава ефективността на MSMCW метод за значително повишаване на УД – повече от шест пъти на база якост на умора при 10^6 цикъла в сравнение с конвенционалния случай на обработка на отвори само с рязане.

Получените $S - N$ криви на Вюлер потвърждават ефективността на новия метод MSMCW в условията на прекомерно голямо разсейване (0.2 mm при номинален диаметър 8 mm) на диаметрите на предварително пробитите отвори.

4. Приноси на дисертационния труд

I. Научно-приложни приноси

Приемам без съществени корекции приносите предложени от докторантката.

1. Предложена е морфологична класификационна схема на основните подходи и реализиращите ги методи за повишаване на УД на метални конструкционни елементи със СО;

2. Доказано е, че в условията на прекомерно голямо разсейване на диаметрите на предварително обработените отвори, MSMCW метод осигурява интензивна и дълбока зона с въведени полезни окръжни ОН на натиск по двете челни страни на пробни тела тип втулки от алуминиева сплав 2024-T3 след СРО и след финалното райберование на отворите;

3. Установен е ефект на издребняване на зърната в близост до повърхнината на отворите в алуминиева сплав 2024-T3 след СРО чрез MSMCW метод в условията на различен диаметър на предварително изработените отвори;

4. Установено е, че микротвърдостта по челните повърхнини на пробни тела от алуминиева сплав 2024-T3, подложени на СРО при различен начален диаметър на отворите, е с 25 % по-висока в сравнение с тази при необработени;

5. На база на профилите на микротвърдостта в осови сечения е установено наличието на градиент в окръжно направление, дължащ се на разликата в еквивалентната пластична деформация в осови сечения, съответстващ на равнините на симетрия на сегмента и на прорежа на инструмента, реализиращ MSMCW метод;

6. Доказано е, че отстраняването на пластично деформиран слой с подходяща дебелина около СРО при финалното райбероване осигурява хомогенизиращ ефект в разпределението на окръжните ОН в осово направление, което подобрява уморното поведение на пулсиращ цикъл на листови компоненти от алуминиева сплав 2024-T3;

7. Получени са S-N криви на умора на пулсиращ цикъл, доказващи ефективността на MSMCW.

II. Приложни приноси

8. Предложен е икономически ефективен процес за СРО, осигуряващ постоянна стегнатост в условията на прекомерно голямо разсейване на диаметрите на предварително обработените отвори;

9. Създадена е база данни за характеристиките на SI (ОН, микротвърдост, микроструктура) в пробни тела тип втулки от алуминиева сплав 2024-T3, подложени на СР чрез MSMCW метод в корелация със степента на студено разширение и дебелината на слоя метал при финалното райбероване;

10. Създадена е база данни за УД на пулсиращ цикъл на плоски образци със СО от алуминиева сплав 2024-T3, обработени само чрез рязане и чрез MSMCW метод в корелация със степента на студено разширение и дебелината на слоя метал при финалното райбероване.

5. Публикации и цитирания на публикации по дисертационния труд

Докторантката е представила списък с 5 (пет) публикации към дисертацията. Една, от които е в списание реферирано и индексирано в световно известните бази данни Scopus и Web of Science и 4 (четири) на международни научни конференции. Всички трудове разработват проблеми, покриващи тематиката на дисертацията. В един от трудовете докторантката е на първо място, а в два на второ. Всички публикации са в съавторство с научните ѝ ръководители. Забелязани са 7 (седем) цитирания в статии, реферирани и индексирани в световно известните бази данни Scopus и Web of Science. Това ми дава основание да твърдя, че резултатите от дисертационният труд са в достатъчна степен популяризирани.

6. Авторство на получените резултати

Към материалите по дисертацията няма разделителни протоколи, поради което приемам, че докторанта има водеща роля в разработването на дисертацията и поне равностойно участие в представените публикации.

Научните ръководители на докторантката са учени с международна известност, автори на голям брой публикации в списания реферирани и

индексирани в Scopus и Web of Science, както и на патенти по проблематиката, разработвана в дисертацията, ето защо изключвам плагиатство.

7. Автореферат и авторска справка

Авторефератът е с разумен обем от 33 (тридесет и три) страници и отразява структурата на дисертационния труд, получените резултати, направените изводи и приносите. Липсва обаче Съдържание и страниците не са номерирани, което затруднява сравнението с дисертацията. Илюстрациите (графики, снимки и таблици) са с отлично качество и са напълно информативни.

Информация за съответствие със ППЗРАСРБ: Броят точки по индикатор G Сума от 5 до 11 е 54,6 точки, при изискуеми 30. Докторантът напълно отговаря на изискванията на ЗАКОНА за развитие на академичния състав в Република България, Правилника за приложение на ЗРАСРБ и Правилника на Техническия университет - Габрово за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ (PhD).

8. Мнения, препоръки и забележки по дисертационния труд

Нямам критични бележки по отношение на направените изводи и получените приноси в дисертационния труд.

Единствена препоръка: дисертацията би спечелила, ако е посочена връзката между отделните глави и публикациите по дисертацията, например в края на всяка глава да е посочено в кои от публикациите са представени получените резултати. Същото се отнася и за приносите.

9. Заключение

Считам, че представеният дисертационен труд **отговаря** на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и изискванията на ТУ-Габрово за придобиване на образователната и научна степен „доктор“. Предлагам **маг. инж. Петя Христофорова Даскалова** да придобие образователната и научна степен „доктор“ в област на висше образование - 5 Технически науки, професионално направление - 5.1 Машинно инженерство, докторска програма - „Строителна механика, съпротивление на материалите“.

30.01.2026 г.

Подпис: /п/

/проф. д-р инж. Стойко Атанасов Гюров/