

# РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за получаване на образователна и научна степен “доктор”

**Автор на дисертационния труд:** инж. Велизар Тодоров Кузманов

**Тема на дисертационния труд:** “Повишаване на уморната дълготрайност на болтови отвори в наставови възли посредством диамантно заглаждане“

**Рецензент:** доц. д-р инж. Силвия Чавдарова Салапатева

## 1. Характеристика на дисертационния труд

### 1.1. Актуалност

Дисертационният труд е посветен на проблема за повишаване на надеждността и безопасността на един от основните за хората и национална икономика масов транспорт – железопътният. Неговата актуалност произтича от обстоятелството, че за Р. България и сходни с нея по географски характеристики на транспортните трасета държави, конструкцията на железния път се изгражда основно с наставови възли. В нашата страна те са над 60% от цялата ж.п. мрежа. Доказано е, че един от основните проблеми за надеждността на релсовия път е якостта на умора именно на наставовия възел, като основният концентратор на напрежения и източник на дефекти причиняващи уморното разрушаване на възела са отворите за болтовите съединения. Ето защо търсенето на нови технологични решения за повишаване на уморната дълготрайност на тези отвори е актуална задача с висока приложна стойност.

### 1.3. Методика на изследването

Трябва да се отбележи, че за решаване на проблема е избран един класически метод за довършващо обработване – диамантно заглаждане. Неговите възможности, като ефективност и приложимост, са били обект на многостранни изследвания. В настоящата дисертация се прави задълбочено изследване на технологичните възможности на метода, като се използват съвременните възможности на научния анализ. Интересен акцент е изследването на термо - механичното въздействие за формиране на остатъчните напрежения в повърхностния слой, като се използват възможности за моделиране и симулативно изследване на физическите процеси формиращи качеството на обработената повърхнина. Свързано с него е извършено модерно изследване на силите на триене, като в аналитичния модел се залага динамичния характер на процеса. За изследване на остатъчните напрежения са използвани както класическият метод, така и крайно елементни модели за компютърна симулация и оптимизация на процеса. В този смисъл, успоредно с решаването на конкретен практически проблем, са постигнати и резултати с научна стойност за по-пълно опознаване на този метод за довършващо механично обработване.

Като цяло оценявам, че възприетите подход и методи за изследване на процеса гарантират получаването на достоверни резултати.

## **1.4. Кратка характеристика на материала, върху който са формулирани приносите**

### **1.4.1. Структура**

Дисертационният труд съдържа въведение, съдържание, номенклатура и приети съкращения, 4 глави, класификация на приносите, публикации и използвана литература с общ обем от 103 страници, в които 71 фигури и графики и 17 таблици.

### **1.4.2. Извършена работа**

**Глава 1** е посветена на проучване на използваните конструкции наставови възли, специфичните дефекти при експлоатацията им, използваните методи за повишаване на границата на умора и технологичните възможности на диамантното заглаждане. Доказана е актуалността и значимостта на уморната дълготрайност на наставовите възли за надеждността и безопасността на ж.п. транспорта. Приведени са конкретни данни за аварията от този проблем в Р.България, Великобритания и САЩ за последното десетилетие. Направено е задълбочено проучване на прилаганите в практиката методи за уякчаване на отворите за болтовите съединения. Разгледани са постиженията в тази област и на научния екип ръководен от проф. д-р Й. Максимов през последните години, които са солидна основа за реализацията на настоящата дисертация. Обосновано е мястото и необходимостта от използването на диамантното заглаждане за постигане целите на дисертацията. В края на анализа са формулирани целта и задачите на дисертационния труд, които оценявам, като адекватни на литературното проучване и анализа на състоянието на проблема.

**Глава 2** е посветена на експериментално изследване на технологичните възможности на диамантното заглаждане – точност на размерите, макрогеометричната форма, микрогеометрия и остатъчни напрежения, оптимизация на режимите на работа.

Като начало е избрана конструкция на инструментите. Правилно е избрана схемата с еластична опора на диамантния държач (инструмент с еластично действие), съобразено с точността на наставовите отвори. Реализираните инструменти за диамантно заглаждане, комбиниран за свредловане и чисто разстъргване и комбиниран за свредловане, чисто разстъргване и диамантно заглаждане, са с оригинална конструкция. Предварителното им изследване върху универсален струг доказва тяхната работоспособност.

За целите на моделирането на процеса е извършено изследване за установяване на конститутивния модел на повърхностния слой за три стомани: R260, 65Г и 40Х. Установено е, че притежават сходно поведение на повърхностните слоеве. Това дава възможност за експерименталните изследвания да се използва стомана 40Х, като по-достъпна на пазара.

Към тази глава са представени резултати от предварително изследване на инструмента за диамантно заглаждане при използване на универсален струг. Считаю това изследване, като тест за неговата работоспособност, без претенции за установяване на оптимални режими на процеса. Основното изследване с приноси за постигане целта на дисертационния труд е осъществено с двупреходна и еднопреходна технологии върху обработващ център, какъвто се използва и в

заводската технология. Изследването е осъществено на три етапа: оптимизиране на режима на рязане за първия преход; оптимизиране на режима на диамантното заглаждане при втория преход и качество на обработената повърхнина при еднопреходно обработване.

За оптимизиране на режима на рязане е използван планиран експеримент. Приложен е композиционен план от втори ред с целева функция  $R_a$  на обработената повърхнина при управляващи фактори подаването и честотата на въртене. Нивата на управляващите фактори са подходящо избрани, съобразно проучената практика на процеса. От анализа на полученото уравнение на регресия са определени оптималните стойности  $f = 0,08 \text{ mm/tr}$ ,  $n = 1250 \text{ min}^{-1}$ , при които  $R_a = 0,8 \text{ }\mu\text{m}$ . Тази грапавост отговаря на препоръчаната, като изходна за диамантното заглаждане.

За оптимизиране на режима на диамантното заглаждане е използван композиционен план от втори ред с целева функция  $R_a$  на обработената повърхнина при управляващи фактори: радиус на диамантния връх; сила на притискане; подаване; честота на въртене. Получената регресионна зависимост е подложена на дисперсионен анализ, от който се установява, че факторите  $f$  и  $n$  са незначими. От модела са установени оптималните стойности  $r = 5 \text{ mm}$ ,  $F = 100 \text{ N}$ . От съображения за максимална производителност се приемат максималните стойности на другите два фактора:  $n = 1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,2 \text{ mm/tr}$ .

С определените оптимални режими е приложено еднопреходно обработване с тройно комбинирания инструмент на партида от 20 детайла. Получените резултати доказват ефективността на технологията. Грапавостта на обработената повърхнина е  $R_a = 0,46 \pm 0,13 \text{ }\mu\text{m}$ , което е сходно с чисто шлифоване ( $R_a = 0,63 \div 0,32 \text{ }\mu\text{m}$ ). За еднократно обработване това е високо постижение.

Накрая на втора глава са представени методиката и резултатите от изследване на остатъчните окръжни напрежения на обработените детайли (образци). Използвана е класическата методика на срязания пръстен, която изисква сложна и прецизна експериментална уредба. Тя е реализирана успешно. Доказан е ефекта на формирането на остатъчни окръжни напрежения на натиск за образците обработени с диамантно заглаждане. Паралелно са измерени и образци обработени с чисто разстъргване. При тях остатъчните напрежения са опънови.

**Глава 3** е посветена на изследването на коефициента на триене при плъзгане между диамантния инструмент и обработваната повърхнина. Проектирана е експериментална уредба – модел на инструмента за диамантно заглаждане. Еластичният елемент, аналог на този на инструмента, чрез който се задава силата на притискане на инструмента към детайла, е конзолна греда с правоъгълно сечение. Връзката между провисването на края на гредата и силата на триене е установена аналитично, като динамично поведение на прав гредови елемент в условията на геометрична нелинейност. Връзката между силата на притискане, силата на триене и коефициента на триене съответства на закона на Кулон. За измерване на провисването на гредата се използват тензометрични преобразуватели залепени в края на конзолната и част.

Експерименталното изследване е осъществено с планиран експеримент. Целева функция е коефициентът на триене при плъзгане. Управляващи фактори са радиусът на диамантния връх, силата на притискане, подаването и честотата на въртене. Полученото уравнение на регресия е подложено на дисперсионен анализ.

Факторът с най-силно влияние за коефициента на триене е радиусът на диамантния накрайник. Това е по-силно изразено при малките подавания. За най-малка сила на триене трябва радиусът на диамантния връх да е максимален, а останалите фактори да са на нулево ниво (средните стойности за условията на експеримента).

**Глава 4** е посветена на създаването на крайно елементни модели на процеса за симулативно изследване на връзката между режимните параметри на диамантното заглаждане и създадените окръжни остатъчни напрежения. Разработени са 3D и 2D модели. Първият е използван за симулативно изследване на връзката между силата на притискане на инструмента и дълбочината на проникване на диамантния връх на инструмента. За изследване на остатъчните напрежения се използва двустранно свързан термо-механичен модел с отчитане на температурния ефект.

Обект на симулативното изследване е определяне на влиянието на радиуса на диамантния връх, силата на притискане и скоростта на плъзгане върху характера и разпределението на остатъчните окръжни напрежения. Установено е, че с намаляване на радиуса на диамантния връх и увеличаването на силата на притискане и скоростта на плъзгане интензивно нараства температурата в работната зона. При това съчетание първите два фактора имат положително влияние върху големината на остатъчните напрежения на натиск и дълбочината на зоната на въздействие, а нарастването на температурата има отрицателен ефект. В границите на изследването не е отчетено значимо влияние на температурното въздействие. Забележимо, но слабо изразено влияние, се отчита при най-неблагоприятното съчетаване на режимните параметри:  $r = 1 \text{ mm}$ ,  $F = 500 \text{ N}$ ,  $V = 200 \text{ m/min}$ . При определения оптимален режим ( $r = 5 \text{ mm}$ ,  $F = 100 \text{ N}$ ,  $V = 130 \text{ m/min}$ ) температурата в работната зона е по-малка от  $100^\circ\text{C}$ , което не поражда структурни промени на материали, съответно и на напрегнатото състояние.

## **2. Приноси на дисертацията**

Приносите в дисертацията са научно–приложни и приложни.

### **Като научно – приложни приноси определям:**

1. Разработеният метод за изследване на коефициента на триене между инструмента и обработваната повърхнина, като функция на режимните параметри на процеса диамантно заглаждане.
2. Разработеният крайно-елементен модел за изследване на остатъчните окръжни напрежения в обработените отвори с отчитане на температурния ефект в работната зона на процеса.
3. Разработеният метод за определяне на конститутивния модел на материала на повърхностния слой на заготовката, основан на последователност от експериментален тест и ососиметричен крайно-елементен анализ на експерименталния тест.
4. Разработеният 3D крайно-елементен модел за симулативно изследване на връзката между силата на притискане и дълбочината на проникване на сферичния диамантен накрайник в материала на детайла.
5. Получените резултати от експериментални и симулативни изследвания за оптимизиране на режимните параметри на процеса, осигуряващи високо

качество на обработената повърхнина и остатъчни напрежения повишаващи уморната дълготрайност на съединението.

#### **Като приложни приноси определям:**

1. Разработените конструкции на инструменти с еластично действие за диамантно заглаждане на отворите на болтовите съединения в наставовите възли на релсов път.
2. Разработените конструкции на комбинирани инструменти за свредловане и разстъргване и за свредловане, разстъргване и диамантно заглаждане на отворите на болтовите съединения в наставовите възли на релсов път.
3. Реализираната лабораторна установка за изследване на коефициента на триене между диамантния връх на инструмента и обработваната повърхнина при диамантно заглаждане.
4. Реализираната лабораторна установка за изследване на остатъчните напрежения на обработени чрез диамантно заглаждане образци по метода на срязания пръстен.
5. Получените експериментални резултати за коефициента на триене при диамантно заглаждане.
6. Получените резултати от симулативно изследване за температурата в зоната на обработване при диамантно заглаждане.
7. Получените резултати от симулативно изследване на остатъчните напрежения в обработената повърхнина при диамантно заглаждане.

#### **3. До каква степен дисертацията и приносите са лично дело на дисертанта**

Равномерното разпределение на публикациите по дисертацията в периода 2013 – 2015 г. показва, че дисертантът активно е работил за постигане целите на изследването през целия период на обучение. Приемам, че той има съществен принос за постигнатите резултати под ръководството на неговите научни ръководители.

#### **4. Публикации по дисертацията**

Основните резултати от дисертацията са публикувани, достатъчно добре разгласени и обсъдени. Трудовете са публикувани, както следва:

- в международно списание с импакт фактор – 1 бр.;
- статии в списания в страната – 7 бр.

#### **5. Цитирания.** Не са представени.

#### **6. Приложимост на резултатите от дисертационния труд**

Не са представени документи за внедряване на резултатите.

**7. Авторефератът** отразява добре съдържанието и приносите на дисертационния труд.

## 8. Лични впечатления от докторанта

Нямам преки впечатления от работата на инж. Велизар Кузманов като докторант в катедрата. Впечатленията ми от дисертационния труд и публикациите свързани с него ми дават основание да заключа, че е развил и притежава качествата на изграден научен работник и изследовател, с което са постигнати целите на обучението в катедрата.

## 9. Общи забележки и препоръки

Като цяло оценявам положително дисертационния труд и нямам съществени забележки. Както вече отбелязах при разглеждане на глава втора, считам, че предварителното изследване на процеса върху универсален струг няма съществен принос за постигане целите на дисертацията по няколко причини:

- 1) Изходната грапавост на образците с  $R_a = 4,1 \pm 1,3 \mu\text{m}$  не отговаря на препоръчителната за диамантно заглаждане ( $0,63 \div 2,5 \mu\text{m}$ );
- 2) Режимът на обработването е силно занижен спрямо препоръчителните режими. Честотата на въртене осигурява скорост на плъзгана в границите от 18,6 до 51,8 m/min. В следващите изследвания тя е вече от 80 до 140 m/min;
- 3) Първоначално се обявява, че целева функция на изследването е коефициентът на редукция на грапавостта, а в уравнението на регресия е параметърът  $R_a$ .

Ето защо считам, че смисълът на пробата върху универсален струг следва да се разглежда само като проверка на работоспособността на създадените инструменти, като допълнение към основното изследване, което не се отразява на постиженията на дисертационния труд.

## 10. Заключение

Като имам предвид актуалността на проблема, постигнатите научно-приложни и приложни приноси в дисертационния труд, които оценявам като оригинално творческо постижение на високо ниво смятам, че той отговаря на изискванията на ЗРАС и Правилника за неговото прилагане за присъждането на образователната и научна степен „доктор“. Това ми дава основание да предложа на на Научното жури да присъди на маг. инж. Велизар Тодоров Кузманов образователната и научна степен „доктор“.

17.11.2015 г.

Пловдив

Рецензент:

(доц. д-р инж. С. Салапатева)