

ФМУ 55-НС 1-036



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Иванка Лилова Делова

Тема на дисертационния труд: Изследване параметрите на пукнатиноустойчивост при легирани стомани за различни режими на термообработка

Рецензент: доц. дн инж. Николай Дойнов

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение.

Темата на дисертационният труд е насочена към разрешаване на проблеми свързани с непрекъснато повишаващите се изисквания към надеждността и експлоатационната безопасност на механичните компоненти, в частност в железопътния транспорт, но засяга и голяма област от енергетиката и машиностроенето. Основния акцент е поставен върху поведението на конструктивните елементи при динамично и циклично натоварване, което води до умора на материала, което се определя като причина за над 80% от отказите при експлоатация на инженерните съоръжения. Преждевременната повреда, дължаща се на умора, може да доведе, както до значителни икономически щети, така и да създаде сериозни рискове за аварии.

Представената работа се базира на подход за анализ на пукнатиноустойчивостта на шарнирни болтове от легирана стомана 42CrMo4 обработени с три различни режима на термообработка, чрез съчетаване на лабораторни изпитвания, съвременни методи за безразрушителен контрол и числено моделиране. Поставената цел и формулираните конкретни задачи, които са успешно решени в представената работа, са с високо научно приложно значение и актуални.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.

Библиографията на дисертационния труд е съвременна и отразява адекватно актуалното състояние на разглежданата научна проблематика. Обхванати са 99 литературни източника, включващи три технически документа, по темата на дисертацията. Обстойно са представени и обсъдени изследвания на други автори. В представянето на литературния анализ, обаче има сериозни технически пропуски. Има несъответствия в посочването или в представянето на съдържанието на редица литературни източници, напр. 72 на стр. 22, 73 на стр. 23, 79 на стр.30 и др. и неспазване на правилата за цитиране при представяне на графичен материал при фиг. 1.1 - 1.10. Препратки или пояснения на формулировки като напр. "зависимост на Парис-Ердоган" или "уравнение на Nasgro", "модел на Willenborg" и т.н. или на означения като напр. "v-K" или "M(T)" не са дадени. Несистематично е и използването на съкращения, особено при представянето на ултразвуковите методи за контрол. Лошо впечатление прави непрецизността при изписването на „линейно еластичната механика на разрушаване“ на места в текста. Добро впечатление прави систематичното изложение на проблема.

Направените, на база на литературния анализ, изводи са правилни. Целта и задачите са ясно формулирани. Това показва, че по същество маг. инж Иванка Делова е добре запозната със спецификата на проблема.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд.

Методологията на проведените изследвания и анализи, обхвата и планирането на експериментите и компютърните симулации, както и подготовката на образците следват строго поставените цел и задачи за определяне на пукнатиноустойчивостта в условия на многоциклова умора. Избрани са класически и съвременни експериментални методи и техники, което позволява успешно изпълнение на поставените задачи. Компютърните симулации са проведени с използване на специализирани софтуерни решения и инструменти.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Дисертационният труд е разработен в обем от 136 страници, като съдържа 74 фигури и 17 таблици. Структуриран е в уводна част, представяне на проведените изследвания, заключение, библиографична справка и списък на публикации, свързани с дисертацията. Всяка глава завършва с основни изводи и заключения. Представянето на изследванията и резултатите, подкрепящи заключенията и приносите е представено в глави 2 до 5.

За провеждане на изследванията са подготвени четири типа образци, без и с три вида термообработка. Проведени са механични изпитвания и металографски изследвания за тяхното детайлно характеризиране. При изпитванията на ударна жилавост са добавени и образци обработени чрез нормализация. Резултатите от анализа са систематично и сравнително ясно представени. Изключение правят резултатите в таблици 2.6 и 2.8 където са дадени непонятни записи (червен шрифт), а и интерпретацията им на фиг.2.8 е спорна. По същество получените експериментални резултати представляват добра основа за оценяване на пукнатиноустойчивостта при различна изходна микроструктура.

Разработена е експериментална методология, на базата на съвременни ултразвукови техники, за провеждане на безразрушителен контрол на шарнирни болтове. Проведени са изпитвания с изкуствено създадени ерозионни надрези и е оценена ефективността и за откриване и измеряване на дефекти от типа уморни пукнатини.

Посредством числени симулации с утвърдени техники и софтуерни инструменти са проведени статичен, динамичен анализ на растежа на уморна пукнатина последователно в стандартен компактен образец за изпитване несиметричен опън и в шарнирен болт. Изследванията са придружени и с фрактографски анализ. Потвърдено е, че коефициентът на интензивност на напреженията (K_I) е независим от материала. Резултати от статичния анализ на шарнирния болт (глава 4.5) показват, че с нарастване на пукнатината K_I първоначално намалява, а

впоследствие нараства, което обаче не е подложено на дискусия. Изследванията на базата на зависимостта на темпа на нарастване на пукнатината към изменението на интензитета на напреженията са проведени за различни характеристики на циклично натоварване и с калибриране на коефициентите на модела за разглежданите микроструктури.

В последната глава на дисертацията е представена разработената от кандидата маг. инж. Иванка Делова методика за контрол и проверка на шарнирни болтове. Тази методика се базира на прилагането на ултразвукови техники с фазиращи решетки, пълно матрично сканиране и алгоритми за оценка на растежа на пукнатини в условия на динамично натоварване.

5. Научни и научноприложни приноси на дисертационния труд

В дисертационния труд приноси не са посочени и следва да се вземат от автореферата, както следва:

Научно-приложни приноси:

1. Разработен и валидиран е числен модел за растеж на уморни пукнатини в болтове от стомана 42CrMo4, реализиран с помощта на специализирани софтуерни приложения.
2. Определени са с висока точност критичните дължини на пукнатини и остатъчният живот на болтове при различни режими на термообработка, като е установено съществено влияние на термообработката.
3. Предложена е комбинирана методика за диагностика, интегрираща съвременни методи за безразрушителен контрол, която обвързва реално измерена дължина на дефекта с числено определена критична стойност.
4. Разработен е алгоритъм за класификация на състоянието на болтовете, базиран на съотношението между измерената и критичната дълбочина на пукнатината, което позволява ранна оценка на риска от разрушение.

Приложни приноси:

1. Предложена е цялостна методика за контрол и техническа оценка на шарнирни болтове, която обединява: безразрушителна инспекция, числен анализ на пукнатини и критерии за техническа пригодност на база реално състояние.
2. Разработен е подход, който е приложим в реални експлоатационни условия, без необходимост от демонтаж на компонентите и може да се внедри в системи за техническа поддръжка на железопътни, автомобилни и машиностроителни компоненти.

По същество приносите са подкрепени от получените резултати и приемливи.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.

Въз основа на представените изследвания и резултати, както и авторството на публикациите по дисертацията, считам, че работата е самостоятелно дело на дисертантката, реализирано под ръководството на научния ръководител. Не откривам плагиатство.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

По темата на дисертацията са посочени пет публикации, четири в рецензирани национални научни списания и една в сборник от международна конференция, рефериран в Scopus. В Scopus е отбелязано едно цитиране.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика.

Данни за пряк икономически ефект не са посочени.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Авторефератът е оформен съгласно изискванията, като достатъчно

пълно и точно отразява резултатите, основните приноси и публикациите по нея.

10. Мнения, препоръки и бележки.

В писмената работа прави лошо впечатление на места непрецизно използване на терминологията, несъответствия в номерацията на библиографията и нестриктното спазване на етиката при цитиране на графичен материал.

По същество работата е структурирана прегледно. Съдържанието представя ясно обхвата, методологията и резултатите от дисертационния труд. Направените критични забележки не намаляват научната и приложна стойност на получените резултати.

11. Заключение

На базата на всичко казано до тук считам, че представеният ми за рецензиране дисертационен труд „Изследване параметрите на пукнатиноустойчивост при легирани стомани за различни режими на термообработка” за присъждане на образователна и научна степен „доктор” в област в област 5. „Технически науки”, професионално направление 5.1. „Машинно инженерство”, научна специалност „Приложна механика”, отговаря на изискванията на ЗРАСРБ и правилниците за неговото приложение и предлагам да се присъди на маг. инж. Иванка Делова образователната и научна степен "доктор".

Дата: 16.07.2025

РЕЦЕНЗЕНТ:

/доц. дн инж. Н. Дойнов/

ФМУ 55 - НС1 - 036



REVIEW

on a dissertation work for the acquisition of the educational and scientific degree of „Doctor ”

Author of the dissertation: MSc Eng. Ivanka Lilova Delova

Topic of the dissertation: Study of Fracture Toughness Parameters of Alloyed Steels Subjected to Various Heat Treatment Regimes

Reviewer: Assoc. Prof. DSc Eng. Nikolay Doynov

1. Actuality of the problem developed in the dissertation work in scientific and scientific-applied terms

The topic of the thesis is aimed at solving problems related to the continuously increasing requirements to the reliability and operational safety of mechanical components, in particular in railway transport, but also affects a large area of energy and mechanical engineering. The focus is on the behavior of structural elements under dynamic and cyclic loading, which leads to material fatigue, which is identified as the cause of over 80% of failures in the operation of engineering equipment. Premature failure due to fatigue can lead to both significant economic damage and create serious accident risks.

The presented work is based on an approach to analyze the crack resistance of 42CrMo4 alloy steel hinge bolts treated with three different heat treatment regimes, by combining laboratory testing, advanced non-destructive testing methods and numerical modelling. The stated aim and the formulated specific tasks, which are successfully solved in the presented work, are of high scientific and applied importance and topical.

2. Degree of knowledge the state of the problem and creative interpretation of the literary material

The bibliography of the dissertation is contemporary and adequately reflects the current state of the considered scientific issues. It covers 99

literature sources, including three technical documents, on the topic of the dissertation. Studies by other authors are thoroughly presented and discussed. However, there are serious technical gaps in the presentation of the literature analysis. There are inconsistencies in the citation or presentation of the content of a number of references, e.g. 72 on page 22, 73 on page 23, 79 on page 30, etc. as well as non-compliance with citation rules in the presentation of graphical material in Fig. 1.1 - 1.10. References or explanations of formulations such as e.g. "Paris-Erdogan relation" or "Nasgro equation", "Willenborg model" etc. or of notations such as e.g. " v - K " or " $M(T)$ " are not given. The use of abbreviations is also unsystematic, especially in the presentation of ultrasonic control methods. Poorly impressed is the imprecision of the spelling of "linear elastic fracture mechanics" in some text fragments. A good impression is made by the systematic presentation of the problem.

The conclusions drawn, based on the literature analysis, are correct. The aim and objectives are clearly stated. This shows that, in essence, MSc. Eng. Ivanka Delova is well acquainted with the specifics of the problem.

3. Consistency of the chosen research methodology with the aim and objectives of the dissertation

The methodology of the investigations and analyses, the scope and design of the experiments and computer simulations, as well as the preparation of the specimens strictly follow the stated aim and objectives for the determination of fracture toughness under high-cycle fatigue conditions. Classical and modern experimental methods and techniques are chosen, which allow for successful completion of the tasks of the work. The computer simulations are conducted using specialized software solutions and tools.

4. A brief analytical description of the nature and reliability assessment of the material on which the thesis contributions are based

The dissertation is developed in a volume of 136 pages, containing 74 figures and 17 tables. It is structured in an introductory part, a presentation of the conducted research, a conclusion, a bibliography and a list of publications related to the dissertation. Each chapter ends with main conclusions and

implications. The presentation of the research and results supporting the conclusions and contributions is given in Chapters from 2 to 5.

Four types of specimens, without and with three types of heat treatment, are prepared for the research. Mechanical tests and metallographic studies are carried out for their detailed characterization. For the impact toughness tests, further specimens treated by normalization are added. The results of the analysis are systematically and relatively clearly presented. The exceptions are the results in Tables 2.6 and 2.8 where incomprehensible entries are given (written in red), and their interpretation in Fig. 2.8 is questionable. Overall, the experimental results obtained provide a good basis for evaluating crack resistance under different initial microstructure.

An experimental methodology, based on modern ultrasonic techniques, is developed to conduct non-destructive testing of pivot bolts. Tests with artificially created erosion notches are carried out and its effectiveness for the detection and sizing of fatigue crack type defects is evaluated.

By means of numerical simulations with validated techniques and software tools, static, dynamic analysis of fatigue crack growth are conducted successively in a standard CT specimen (compact tension specimen) and in a pivot bolt. The investigations are also accompanied with proctographic analysis. It is confirmed that the stress intensity factor (K_I) is independent of the material. Results from the static analysis of the pivot bolt (section 4.5) show that as the crack grows, the K_I initially decreases and subsequently increases, however, this is not sufficiently discussed. Investigations based on the dependence of crack growth rate to stress intensity variation are conducted for different cyclic loading characteristics and with calibration of the model coefficients for the different microstructures.

The last chapter of the dissertation presents the developed by the candidate MSc Eng. Ivanka Delova methodology for control and inspection of pivot bolts. This methodology is based on the application of phased array ultrasonic techniques (PAUT), full matrix scanning (FMC) and algorithms for crack growth assessment under dynamic loading conditions.

5. Scientific or scientific-applied contributions of the dissertation

Contributions are not listed in the thesis and should be taken from the abstract as follows:

Scientific contributions:

1. A numerical model for fatigue crack growth in 42CrMo4 steel bolts was developed and validated using specialized software applications.
2. Critical crack lengths and residual lives of bolts under different heat treatment regimes are determined with high accuracy, and the influence of heat treatment is found to be significant.
3. A combined diagnostic methodology integrating modern non-destructive testing methods is proposed, which relates actual measured flaw length to a numerically determined critical value.
4. A bolt condition classification algorithm based on the ratio between measured and critical crack depth is developed, allowing early assessment of failure risk.

Scientific-applied contributions:

1. A comprehensive methodology for the inspection and technical evaluation of pivot bolts is proposed, which combines: nondestructive inspection, numerical crack analysis and technical suitability criteria based on actual condition.
2. An approach is suggested and developed that is applicable in real operating conditions without the need for component disassembly and can be implemented in maintenance systems for railway, automotive and mechanical engineering components.

In its essence, the contributions are supported by the obtained results and acceptable.

6. Evaluation of the degree of the candidate's personal involvement in the contributions

Based on the research and presented results, as well as the authorship of the publications on the dissertation, I assume that the work is an independent

work of the candidate, realized under the supervision of the supervisor. I find no plagiarism.

7. Assessment of the publications on the dissertation

Five publications on the topic of the dissertation are listed, four in peer-reviewed national scientific journals and one in a Scopus refereed international conference proceedings. One citation is noted in Scopus.

8. Applying the results of the dissertation to scientific and social practice

No data on direct economic effect are provided.

9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation and the appropriateness of the presentation of the main points and contributions of the dissertation

The abstract is prepared according to the requirements. The presented results, main contributions and publications on the thesis are sufficient, complete and accurate.

10. Opinions, recommendations and comments

The written work makes a poor impression in places with imprecise use of terminology, inconsistencies in bibliography numbering and careless ethics in citing graphic material.

In essence, the work is structured clearly. The contents clearly present the scope, methodology and results of the thesis. The critical remarks made do not diminish the scientific and applied value of the results obtained.

11. Conclusion

Based on the above review, I conclude that the submitted doctoral thesis „Study of Fracture Toughness Parameters of Alloyed Steels Subjected to Various Heat Treatment Regimes” in the field 5. - Technical sciences,

Professional direction 5.1.- Mechanical engineering, scientific specialty „Applied Mechanics“, meets the requirements of the "Law on the Development of Academic Staff in Republic of Bulgaria" and its associated regulations. I therefore recommend that MSc Eng. Ivanka Delova be awarded a Doctor degree.

Sofia: 16.07.2025

Reviewer:
/Assoc. Prof. DSc Eng. N. Doynov/