

ФМУ55-НС1-036



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 различните режими на термообработка

Рецензент: проф. д-р инж. Васил Димитров Златанов

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията

Елементите на машините и съоръженията в процеса на експлоатация са подложени на различни натоварвания. Надеждността на конструкционните елементи, а и на машините и съоръженията като цяло, се определя преди всичко от тяхната работоспособност. Главният критерии на работоспособността на машинните елементи е якостта. В зависимост от характера на натоварването се наблюдават контактна и обемна якост, статична якост, ударна якост, якост при променливи напрежения. Характерът на разрушенията в машиностроенето показва, че около 80% от тях са в следствие на умора на материала под действието на циклични натоварвания. Тази статистика определя умората на материала като един от най-съществените проблеми, свързани с надеждността на конструкционните елементи. Обект на изследване в дисертационния труд е ресорен болт, използван в подвижния железопътен състав на БДЖ. Поставените задачи за изпълнение в дисертационния труд, подчинени на поставената цел – разработване на иновативна технология за изработка на ресорен болт, гарантиращ постигането на по-безопасен и по-бърз електротранспорт, следват необходимата логическа последователност при теоретичните и експерименталните изследвания. Това ми дава основание да заявя, че темата на дисертационния труд е актуална, както в научно, така и в научноприложно отношение.

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

Представеният дисертационен труд е развит на 136 компютърно написани страници. Съдържа пет глави, заключение, библиография. Вложени са 82 фигури и 19 таблици. Литературната справка, обхващаща 99 източника, от които 11 на кирилица и 88 на латиница. Накрая дисертационният труд завършва с постигнатите научноприложни и приложни приноси и списък на публикациите на автора по дисертацията – пет на брой. Първа глава има обзореен характер. Направен е задълбочен анализ, основан на достатъчен брой литературни източници, на знанията в областта на умората на материала, растежа на пукнатините и механиката на разрушаването на материала и в частност на конструкционни елементи в подвижния железопътен състав. Подробно са разгледани и ултразвуковите методи за безразрушителен контрол. Точно и ясно са анализирани и оценени научните постижения в изследваната област.

Всичко това показва, че докторантката много добре познава състоянието на проблема по темата на дисертационния труд.

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

Формулираната цел в дисертационния труд изисква решаването на пет основни задачи. Възприетият подход за тяхното решаване налага да се проведат механични изпитания върху образци от стомана 42CrMo4, използвана за ресорните болтове за БДЖ; разработване на експериментална методология за провеждане на безразрушителен контрол върху безрезбови болтове, използвани от БДЖ; разработване на числено моделиране на уморни пукнатини в ресорните болтове, съчетано с аналитичното им определяне; разработване на приложна методика за техническа оценка, диагностика и прогнозиране на остатъчния ресурс на изследваните ресорни болтове. За да се осъществи набелязания в дисертационния труд подход са използвани: универсален твърдомер модел ТН-140; светлинен микроскоп „Polyvar Met“; сервохидравлична изпитателна машина HA-250 на Zwick/Roell със специализиран софтуер TestXpert III; изпитателна машина тип МУИ-6000; ултразвуков дефектоскоп с 64-канална паралелна архитектура, използваща

софтуера Capture v4.1; софтуерни програми и пакети – CIVA NDE Simulation Software, ANSYS, MATLAB.

Методиката на изследването съответства на избрания подход за постигането на поставената цел и за решаване на задачите в дисертационния труд.

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

В глава първа е направен обзор на знанията в областта на умората на материала, като основно са разгледани научните публикации, свързани с механиката на разрушаване и ултразвуковия безразрушителен контрол при конструкционните елементи, използвани в подвижния състав на железопътния транспорт. На базата на направените изводи е формулирана целта на дисертационния труд и са определени петте основни задачи, които трябва да се решат. Глава втора е посветена на оценяването на механичните характеристики на легираната стомана 42CrMo4, използвана при производството на ресорните болтове за БДЖ, преди и след различни термични и химико-термични обработки. Целта е да се установи влиянието на структурните промени от термообработката върху твърдостта, якостта, ударната устойчивост, поведението при умора на материала. Получените експериментални данни са необходими за по-прецизно моделиране на остатъчния живот на ресорните болтове, произвеждани за БДЖ. В трета глава е представена разработената експериментална методология за провеждане на безразрушителен контрол върху безрезбови болтове за железопътния транспорт. Определени са параметрите на ултразвуковия метод за контрол, осигуряващи количествен анализ на уморните пукнатини и висока надеждност при ранното им откриване в критичните компоненти на подвижния железопътен състав. В четвърта глава е представено числено моделиране на растежа на уморните пукнатини в изследваните ресорни болтове при различни технологични и експлоатационни условия. Числената симулация на растежа на пукнатините, осъществена чрез програмния продукт ANSYS Workbench, е сравнена с резултатите, получени на основа на закона на Парис в средата на MATLAB. В последната пета глава е представена разработената методика за техническа оценка, диагностика и прогнозиране на

остатъчния ресурс на изследваните ресорни болтове. Изследванията от дисертацията са извършени в лабораториите на катедра „Механика“ на ТУ-София, филиал Пловдив и на Института по механика към БАН. Резултатите от дисертационния труд са представени на заседание на катедра „Механика“, на национални конференции и на международна конференция.

Това е основание да се приемат за достоверни материалите и резултатите, върху които са изградени приносите.

5. Основни приноси

Приносите в дисертационния труд могат да бъдат отнесени към две групи: научноприложни и приложни приноси. Първата група приноси се отнасят до численото моделиране на растежа уморните пукнатини в ресорните болтове от стомана 42CrMo4 в средата на ANSYS, определянето на критичните дълбочини на пукнатините и остатъчния живот на болтовете при различни режими на термообработка посредством закона на Парис, интегрирането на съвременните методи за безразрушителен контрол в комбинирана методика за диагностика, алгоритъм за класификация на състоянието на болтовете за ранна оценка на риска от разрушаване. Втората група приноси се отнасят до подход и методика за контрол и прогнозиране на остатъчния ресурс на изследваните ресорни болтове, която може да се адаптира и за други възли в транспорта и в по принцип в машиностроенето. Получените резултати могат да се оценят като оригинални.

Приемам формулираните научни и научноприложни приноси от докторантката, отразяващи резултатите на извършената от нея работа.

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

Докторантката маг.инж. Иванка Лилова Делова работи в катедра „Механика“ в ТУ-София, филиал Пловдив от 2021г. През този период в научната среда на колектива на катедрата тя се изгради като научен работник, който може правилно да анализира и решава научни проблеми. Тези констатации си базират и на личните ми впечатления от работата и. Поради това аз нямам съмнения в личния принос на докторантката маг.инж. Иванка Лилова Делова в разработването на дисертацията и в приносите на дисертационния труд.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Публикациите по дисертационния труд са пет и в тях са отразени основните резултати от него. Четири от публикациите са докладвани на „Дни на механиката“ във Варна и са публикувани в сп. „Механика на машините“ и „Машиностроене и машинознание“. Една от публикациите е докладвана на международна конференция в Латвия, включена в базата данни Scopus. Характерът на изданията показва, че научната общност е имала възможност да се запознае с основните резултати от дисертационния труд. Няма представени документи за цитиране от други автори. Покрити са минималните изисквания от група Г, определени в Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Техническия университет – София.

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

Резултатите от работата по дисертационния труд допринасят за по-доброто разбиране и практическото приложение на процесите на разрушаване от умора на материала при болтовите съединения от легирана стомана. Разработената методика е още един инструмент за оценка на състоянието и удължаването на експлоатационния живот на машинните елементи. Необходимо е да се отбележи, че в дисертационния труд има потенциал за бъдещи научни и научноприложни изследвания, включително и на база на натуралните експерименти. В материалите по процедурата не са представени документи за постигнат пряк икономически ефект.

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 отговаря на изискванията на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ – София. Отразени са в достатъчна пълнота съдържанието на дисертационния труд и са посочени основните резултати и приноси в него.

10. Мнения, препоръки и бележки

Към разработения дисертационен труд могат да се направят следните бележки и препоръки:

- Необходимо е, в съответствие с изискванията на ЗРАСРБ, означенията във фигурите да бъдат и на български език. Това изискване се отнася за някои от приложените фигури в Глава I – фиг.1.5, фиг.1.7, фиг.1.8, фиг.1.10;
- Има технически и правописни грешки – на стр. 14 е записано задвижвани и незадвижвани оси, което не кореспондира с приетата терминология; на стр. 44 е посочена като дата за сертифициране на универсалния твърдомер 03.04.2025г.; фиг.2.4, фиг.2.10, фиг.4.1 са отбелязани като схеми, а те представляват чертежи. Предвид обема на дисертационния труд броят на тези грешки е незначителен;
- Не е посочено къде е направен анализа на химическия състав на стомана 42CrMo4 на стр.43. Липсва фигура, която да представи възела, чиито елемент е ресорният болт и от където да се получи представа за неговото натоварване. В целта на дисертационния труд на стр.41 е записан като обект на изследването ресорен болт, а след това се използва шарнирен болт. Недостатъчно точно и в необходимата пълнота са представени входните параметри при симулацията в ANSYS.

Настоящият дисертационен труд може да се използва от автора като основа за бъдещата му научна дейност.

11.Заключение.

Основавайки се на представената документация и на извършения анализ на дисертационния труд и получените научни и научноприложни приноси в него, считам, че те отговарят на изискванията на ЗРАСРБ и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ – София. Ето защо си позволявам да предложа на почитаемото Специализирано научно жури да присъди на автора маг.инж. Иванка Лилова Делова образователната и научна степен доктор по научна специалност „Приложна механика“ от професионално направление 5.1 Машинно инженерство в област на висшето образование 5. Технически науки.

18.08.2025

Рецензент:

/проф. д-р инж. В. Златанов/

ФМУ 55-НС1-036

OPINION



for dissertation work on acquisition educational and scientific degree "doctor"

The author of the dissertation: Mast. Eng. Ivanka Lilova Delova

Thesis topic: Investigation of crack resistance parameters of alloy steel for various heat treatment modes

Scientific Jury Member: Prof. Eng. Vassil Dimitrov Zlatanov, PhD

1 Relevance of problems developed in the dissertation work in scientific and scientific-applied terms. Degree and levels of relevance of the problem and specific tasks developed in the dissertation

The elements of the machines and the structures are subjected to various loads during operation. The reliability of structural elements, as well as machines and structures in general, is primarily determined by their operability. The main criterion for the operability of machine elements is strength. Depending on the nature of the load, contact and volumetric strength, static strength, impact strength, and strength under alternating stresses are distinguished. The nature of failures in mechanical engineering shows that about 80% of them are the result of material fatigue under the influence of cyclic loads. These statistics identify material fatigue as one of the most significant problems related to the reliability of structural elements. The subject of the research in the thesis is the spring /hinge/ bolt used in the rolling stock of BDJ. The tasks set in the dissertation work, subordinated to the goal set-the development of an innovative technology for manufacturing a spring bolt, which guarantees the achievement of safer and faster electric transport, follow the necessary logical sequence in theoretical and experimental research. This gives me a reason to state that the topic of the dissertation is relevant both in scientific and applied terms.

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

The dissertation is compiled on 136 computer pages. Contains five chapters, conclusion, bibliography. It contains 82 figures and 19 tables. Literary reference, covers 99 literary sources, of which 11 in Cyrillic and 88 in Latin. The dissertation work ends with the achieved scientific and scientific applied contributions and the list of publications of the author on the dissertation - five pieces. The first chapter is of an overview nature. A deep analysis was made, based on a sufficient number of

literary sources, about knowledge in the field of material fatigue, crack growth and mechanics of material destruction, and, in particular, structural elements of a rolling stock. Ultrasonic methods of non-destructive testing are also considered in detail. Scientific achievements in the area under study are accurately and clearly analyzed and evaluated.

All this indicates that the graduate student knows very well the state of the problem on the topic of dissertation work.

3 Compliance of the selected research methodology with the goal and objectives of the dissertation

The formulated goal in the dissertation requires the solution of five main problems. The adopted approach to their solution requires mechanical tests on samples of 42CrMo4 steel used for BDJ spring bolts; development of an experimental methodology for nondestructive testing of noncutting bolts used by the BDJ; development of numerical modeling of fatigue cracks in resource bolts in combination with their analytical determination; development of an applied technique for technical assessment, diagnostics and prediction of the residual service life of the investigated spring bolts. To implement the approach outlined in the dissertation work, the following were used: universal hardness meter of the TN-140 model; light microscope "Polyvar Met"; Zwick/Roell HA-250 servo hydraulic test machine with dedicated TestXpert III software; MUI-6000 type test machine; ultrasonic flaw detector with 64-channel parallel architecture using Capture v4.1 software; software programs and packages - CIVA NDE Simulation Software, ANSYS, MATLAB.

The research methodology corresponds to the chosen approach to achieving the set goal and solving problems in the dissertation.

4 Brief analytical description of the essence and assessment of the reliability of the material on which the contribution of the dissertation is based

The first chapter provides an overview of the knowledge of material fatigue. scientific publications related to fracture mechanics and ultrasonic non-destructive testing in structural elements used in railway rolling stock are mainly considered. Based on the conclusions obtained, the purpose of the dissertation was formulated and five main tasks were identified that need to be solved. The second chapter is

devoted to the assessment of the mechanical characteristics of 42CrMo4 alloy steel used in the production of spring bolts for BDJ, before and after various thermal and chemical-thermal works. The goal is to establish the effect of structural changes in heat treatment on the hardness, strength, impact resistance, fatigue behavior of the material. The obtained experimental data are necessary for more accurate modeling of the residual service life of spring bolts produced for BDJ. The third chapter presents the developed experimental methodology for conducting non-destructive control of noncutting bolts for railway transport. Parameters of ultrasonic control method providing quantitative analysis of tired cracks and high reliability of their early detection in critical components of railway rolling stock are determined. The fourth chapter presents a numerical simulation of the growth of tired cracks in the spring bolts under study under various technological and operational conditions. Numerical modeling of crack growth carried out using the ANSYS Workbench software product is compared with the results obtained based on Paris' law in the middle of MATLAB. The last fifth chapter presents the developed methodology for technical assessment, diagnosis and prediction of the residual life of the investigated spring bolts. Dissertation studies were carried out in the laboratories of the Department of Mechanics of TU-Sofia, Branch of Plovdiv and the Institute of Mechanics of the BAS. The results of the dissertation are presented at a meeting of the Department of Mechanics, at national conferences and at an international conference.

This is the basis for recognizing the materials and results on which the materials are compiled as reliable.

5 Main contributions

Contributions to the dissertation can be attributed to two groups: scientific-applied and applied. The first group of contributions relates to numerical modeling of the growth of tired cracks in 42CrMo4 steel spring bolts in the middle of ANSYS, determination of critical crack depths and residual service life of bolts under various heat treatment modes using Paris' law, integration of modern non-destructive testing methods into a combined diagnostic technique, an algorithm for classifying the state of bolts for early assessment of the risk of destruction. The second group of contributions refers to the approach and methodology for monitoring and predicting the residual life of the spring bolts under study, which can be adapted to other nodes

in transport, and mainly to mechanical engineering. The results obtained can be assessed as original.

I accept the formulated scientific and applied contributions to the graduate student, reflecting the results of her work.

6 Assessment of the degree of personal participation of the graduate student in contributions

Graduate student Mast. Eng. Ivanka Lilova Delova has been working at the Department of Mechanics in TU-Sofia, Branch of Plovdiv since 2021. During this period, in the scientific environment of the department team, she has developed as a scientist capable of correctly analyzing and solving scientific problems. These conclusions are also based on my personal impressions of the work. Therefore, I have no doubts about the personal contribution of the graduate student Mast. Eng. Ivanka Lilova Delova in the development of the dissertation and in the contribution of the dissertation.

7 Evaluation of dissertation publications

There are five publications on the dissertation, they reflect the main results of the dissertation. Four of the publications were presented in the "Days of Mechanics" in Varna and published in the journal "Mechanics of Machines" and "Mechanical Engineering and Machine Science." One of the publications was presented at an international conference in Latvia, included in the Scopus database. The nature of the publications indicates that the scientific community had the opportunity to familiarize themselves with the main results of the dissertation. There are no documents to cite other authors. The minimum requirements of group Γ, defined in the Rules of conditions and the procedure for acquiring scientific degrees at the Technical University - Sofia, are completed.

8 Use of dissertation results in scientific and social practice

The results of the dissertation work contribute to a better understanding and practical application of material destruction processes in bolted joints of alloy steel. The developed technique is another tool for assessing the condition and extending the service life of machine elements. It should be noted that the dissertation work has the potential for future scientific and scientific-applied research, including on the basis of natural experiments. The materials of the procedure do not provide documents to achieve a direct economic effect.

9 Assessment of the correspondence of the author's abstract to the requirements of its compilation, as well as the adequacy of reflecting the main provisions and the contribution of the dissertation

The author's abstract meets the requirements of the regulations on the conditions and procedure for acquiring scientific degrees in TU-Sofia. The content of the dissertation is fully reflected and the main results and contributions to it are presented.

10 Opinions, recommendations and comments

The following comments and recommendations can be attached to the dissertation.:

- * It is necessary that in accordance with the requirements of the ZRASRB, the designations in the figures are also in Bulgarian. This requirement applies to some figures given in Chapter I-Fig. 1.5, Fig. 1.7, Fig 1.8, Fig. 1.10;

- * Technical and spelling errors - on page 14, driven and non-movable axles are recorded, which does not correspond to the accepted terminology; on page 44 is indicated as the date of certification of the universal hardness meter 03.04.2025; Fig.2.4, Fig.2.10, Fig.4.1 are marked as diagrams and they are drawings. Given the volume of dissertation work, the number of these errors is negligible;

- * It is not indicated where the chemical composition of steel was analyzed 42CrMo4 at page 43. There is not enough figure to represent the node whose element is the spring bolt and from where you can get an idea of its load. In the Purpose of the dissertation on page 41, a spring bolt was registered as an object of study, and then a hinge bolt was used. The input simulation parameters in ANSYS are not sufficiently accurate and complete.

This dissertation can be used by the author as the basis for his future scientific activity.

11 Conclusion

Based on the submitted documentation and on the analysis of the dissertation and the scientific and applied contributions received in it, I believe that they meet the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Rules on the conditions and procedure for acquiring scientific degrees in Technical University-Sofia. Therefore, I will allow myself to propose to the honorable specialized scientific jury to award the author Mast. Eng. Ivanka Lilova Delova educational and scientific degree of doctor in the scientific specialty "Applied Mechanics" of the professional direction 5.1 Mechanical engineering in the field of higher education 5. Technical sciences.

DATE: 18.08.2025

MEMBER OF THE JURY:

/ Prof. Eng. Vassil Dimitrov Zlatanov, PhD /