



Получена на
11.06.2026г.

РЕЦЕНЗИЯ

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

Автор на дисертационния труд: **маг. инж. Красимир Веселинов Николов**

Тема на дисертационния труд: **Влияние на стареенето върху механичните свойства на пробни тела от полимерни материали, получени чрез адитивно производство**

Рецензент: **проф. д-р инж. Николай Димитров Николов**, катедра „Механика“

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.

Актуалността на разработения проблем е безспорна. В съвременния свят адитивно произведените полимерни детайли намират все по-голямо приложение, като все по-често се използват в конструкции, които се експлоатират в атмосферни или други неблагоприятни условия. Така тези детайли са застрашени от стареене, което значително влошава механичните им свойства и налага за надеждната им експлоатация да се извършват съответните изследвания.

Стареенето обикновено е бавно протичащ процес, който силно зависи от условията, в които работи изделието. Затова разработването на представителни ускорени методи и средства за неговото изследване е както необходимо и полезно, така и предизвикателно и сложно. Задачата е интердисциплинарна и изисква знания и умения в различни области, както се започне от адитивни технологии, материалознание, и „Съпротивление на материалите“, мине се през характерни за машинното инженерство предизвикателства, свързани с проектиране и конструиране на детайли и машини, и се стигне до автоматика, електроника, програмиране и др. Проблемът е комплексен в научно и приложно отношение и поради голямото разнообразие от адитивни технологии, материали, среди за експлоатация, както и поради отсъствието на надеждни зависимости между резултатите, получени чрез естествени и ускорени методи на стареене.

Представеният дисертационен труд е с обем от 117 страници и включва 4 глави, 77 фигури, 18 таблици и списък със 100 литературни източници, 13 от които са стандарти. Целта на дисертационния труд е формулирана ясно и точно, а за постигането ѝ са поставени 7 задачи, които съответстват на поставената цел.

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

Литературният обзор обхваща около 1/3 от дисертационния труд. Особено внимание е отделено на стандартите (13 на брой), свързани с изпитване на материалите и определяне на механичните им свойства, които имат отношение към темата на дисертацията. Отделно са разгледани 87 литературни източници, които отчасти обхващат проблематиката на дисертацията. Поставен е акцент върху влиянието на стареенето върху кривите на деформиране на материала, както и върху методите и

средствата за изпитване и е демонстрирано добро познаване на тези проблеми. Не са разгледани основните класове конститутивни модели, с които се изследователите се опитват да опишат влиянието на времето, температурата, влагата, лъчението, кислорода и механичното натоварване върху механичните свойства на полимерите. На три места в Глава 1 има раздел „Изводи“, където авторът интерпретира литературния материал и прави заключения, свързани с избора на технология за адитивно производство, стратегии за изпитване на стареене, както и за апаратурата за ускорено стареене и изпитване на опън, които да бъдат използвани в дисертацията.

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

В дисертационния труд са набелязани и решени следните задачи:

- Проектирани и реализирани са методи и средства за получаване на естествено и ускорено стареене при стандартни пробни тела от полимерен материал;
- Разработени са методи и средства за изпитване на полимерни пробни тела на опън и за обработка на получените резултати;
- Проведени са експерименти с нови, както и с естествено и изкуствено състарени пробни тела. Установено е влиянието на времето на експозицията върху механичните свойства. Установена е връзка между естественото стареене и ускореното стареене, получено чрез разработени в дисертацията машина и методика;
- Предложени са методики за определяне и за прогнозиране дълбочината на деградирания слой в следствие на естествено стареене, базирани на собствени експериментални резултати.

Постигнатите приноси съответстват на поставената цел и задачи, а методите за тяхното постигане са подходящи.

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

Приносите в дисертационния труд се градят върху собствени експериментални изследвания. Пробни тела за изпитване на опън са подложени на естествено и на ускорено стареене, като за целта са изработени подходящи технически средства – стойка за естественото стареене и машина за периодично потапяне във вода и за облъчване с UV-светлина, с която се постига ускореното стареене. Нови и състарени пробни тела са изпитани на опън, като специално за целта е модернизирана съществуваща изпитателна машина. Всички технически решения и всички експерименти са реализирани в съответствие с действащите стандарти. Предложените методики за работа и за обработка на експерименталните резултати са подробни и адекватни.

5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд.

Приносите в дисертационния труд са научноприложни и приложни и се отнасят към следните групи:

- *доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и теории:* установени са зависимости на влошаване механичните свойства с времето на стареене; установена е графична връзка между естественото и ускореното стареене;
- *създаване на нови методи на изследване, нови конструкции и технологии:* създадени са системи за реализиране на естествено и ускорено стареене; създадени са методики за определяне на условната граница на провлачане на полимерни материали с големи нелинейни еластични деформации и за прогнозиране дълбочината на деградация на материала при стареене.
- *получаване на потвърдителни факти:* експериментални резултати от изпитване на опън на нови и състарени полимерни пробни тела.

Предложените методики и експерименталните резултати могат да бъдат използвани в практиката, както и от други изследователи в научната им работа. Създадената машина за ускорено стареене и модернизиранията машина за изпитване на опън остават налични за бъдеща работа в лабораториите на катедра „Механика“.

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

Познавам докторанта от 2015 г., когато като служител в чуждестранна фирма потърси сътрудничество с екип на катедра „Съпротивление на материалите“ за работа по изследователски задачи. В последствие го познавам също като докторант и асистент в катедра „Механика“. Доколкото ми е известно, той има основна роля в планирането и провеждането на експериментите, както и значително участие в обработката на експерименталните резултати и разработването на методиките, описани в дисертационния труд.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

Съществени части от дисертационния труд са публикувани в общо три публикации. Първата публикация е в сборник на научната конференция „БулТранс“ (2020 г.), включен в референтния списък на НАЦИД, а другите две са в българско списание с платен достъп, индексирани в Scopus (2024 и 2025 г.) и попадащо в квартал Q4. До момента публикациите имат 4 цитирания в индексирани в Scopus издания, 2 от които са в списания с квартал Q1. Тази информация ми дава основание да преценя, че публикациите са достатъчни и по количество, и по качество.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект.

Не са представени данни за внедряване на резултатите в практиката по начин, довел до измерим икономически ефект. Дисертационният труд обаче намира приложение в научноизследователската дейност и има потенциал за бъдещо развитие. Това се потвърждава както от цитиранията на публикациите по темата в престижни и специализирани научни издания, така и от планираните в катедра „Механика“ бъдещи изследвания, основани на разработените методи и средства за изучаване на стареенето при полимерните материали. Предстои по-задълбочен анализ на зависимостите между естественото и ускореното стареене, както и опити за тяхното описване чрез подходящи модели.

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 съответства на изискванията за изготвянето му и адекватно отразява основните положения и приносите в дисертационния труд. При изготвяне на предварително становище за готовността на автореферата имах възможността да отправя някои препоръки и забележки към докторанта и неговия ръководител, които бяха взети под внимание в крайния вариант.

10. Мнения, препоръки и бележки.

При изготвяне на предварително становище върху дисертационния труд имах възможността да отправя значителен брой препоръки и забележки, голяма част от които са отразени в крайния вариант. Допълнително имам следните коментари:

- Текстовете в глава 2, стр. 60-68 представляват извадки от стандарти с минимална авторската интерпретация на изложения материал. На стр. 65-68 не става ясно защо е отделено толкова внимание на стандарта „ISO 6892-1 Метални материали. Изпитване на опън...“, при положение, че в дисертационния труд не се изпитват метални материали;
- Раздел „Модернизирани на изпитвателна машина Zwick“ (стр. 82) е кратък и не демонстрира добре направените подобрения по машината. Не са представени изображения и описания на новите силомер, енкодер и компютърна програма.
- На стр. 94 долу са сгрешени номерата на цитираните таблица и фигура. Пак там е направен извод, че при линейни еластични деформации в диапазона 0,6–1,0% са налице големи нелинейни еластични деформации. Този извод не следва еднозначно от изложения аргумент и се нуждае от допълнителна обосновка. Освен това е посочено, че поради тази причина не може да се определи условната граница на провлачане съгласно БДС EN ISO 6892-1:2020, без да е обяснено защо е необходимо да се използва стандарт, предназначен за изпитване на метални, а не на полимерни материали. На тази основа е мотивирана разработката на методика за определяне на условна граница на провлачане при полимерите, но липсва обосновка защо именно тази характеристика е необходима и доколко е подходящо тя да се използва като якостен параметър на материала. В разработената методика е възприета стойност на остатъчната пластична деформация 0,2%, характерна за металните материали, без да е представена аргументация за приложимостта на тази стойност при изследвания полимерен материал, чието деформационно поведение се различава съществено спрямо това на металите както при натоварване, така и след разтоварване.
- Основен принос в дисертационния труд е установената зависимост между естественото стареене на материалите и ускореното стареене, получено чрез разработените в дисертацията машина и методика. Тази зависимост обаче е представена единствено в графичен вид. Не е направен опит за прилагане на съществуващи конститутивни модели за стареене на полимери, нито за разработване на собствен аналитичен модел, който да обобщи и опише получените експериментални резултати. По този начин възможностите за практическо приложение на установената зависимост остават ограничени.

- В дисертацията е разработена методика за определяне на дълбочината на деградирания слой вследствие на стареенето на материала. На базата на собствени експериментални резултати е предложена графична зависимост между времето на естествено стареене и дълбочината на деградирания слой. Не е направен анализ на получената зависимост и отново липсва опит за нейното аналитично описване, както и за сравнение с известни модели и литературни данни.

11. *Заключение с оценка на дисертационния труд.*

Личното ми становище е, че дисертационният труд предлага подходи и решения на важен за инженерната практика проблем. Трудът е с подчертано експериментален характер. Направените по-горе коментари следва да се разглеждат като препоръки и насоки за бъдеща работа, с цел надграждане на постигнатите резултати.

Изследваният проблем е актуален, поставената цел и формулираните задачи са изпълнени, а представените научно-приложни и приложни приноси отговарят на изискванията на ЗРАСРБ, Правилника за неговото прилагане и съответния Правилник на ТУ – София. Това ми дава основание да препоръчам на Уважаемото научно жури да присъди на **маг. инж. Красимир Веселинов Николов** образователната и научна степен „доктор“ в област на висше образование „Технически науки“, професионално направление 5.1. „Машинно инженерство“, по докторска програма „Строителна механика и съпротивление на материалите“.

София,
09.06.2026 г.

Рецензент:


(п)
(проф. Н. Д. Николов)

Вярно с оригинала.





REVIEW

of a Dissertation Submitted for the Award of the Educational and Scientific Degree
“Doctor”

Dissertation Author: **M.Sc. Eng. Krasimir Veselinov Nikolov**

Dissertation Title: **Influence of Aging on the Mechanical Properties of Polymer Specimens Produced by Additive Manufacturing**

Reviewer: **Prof. Nikolay Dimitrov Nikolov**, PhD, Eng., Department of Mechanics

1. Relevance of the scientific and applied research problem addressed in the dissertation. Degree and level of relevance of the problem and the specific research tasks developed in the dissertation

The relevance of the research problem addressed in the dissertation is indisputable. In the modern world, additively manufactured polymer components are finding increasingly widespread application and are more frequently being used in structures operating under atmospheric or other adverse environmental conditions. As a result, these components are exposed to aging processes that may significantly deteriorate their mechanical properties, making the corresponding investigations essential for their reliable operation.

Aging is generally a slow process that strongly depends on the conditions under which a product operates. Therefore, the development of representative accelerated methods and facilities for its investigation is not only necessary and useful but also challenging and complex. The problem is interdisciplinary and requires knowledge and skills in various fields, ranging from additive manufacturing technologies, materials science, and strength of materials, through engineering challenges related to machine design and construction, and extending to automation, electronics, programming, and other related disciplines. The problem is complex from both scientific and practical perspectives due to the wide variety of additive manufacturing technologies, materials, and operating environments, as well as the absence of reliable correlations between the results obtained through natural and accelerated aging methods.

The presented dissertation comprises 117 pages and includes four chapters, 77 figures, 18 tables, and a bibliography containing 100 references, 13 of which are standards. The objective of the dissertation is formulated clearly and precisely. To achieve this objective, seven research tasks have been defined, all of which are consistent with the stated goal.

2. Degree of familiarity with the state of the art and creative interpretation of the literature

The literature review covers approximately one-third of the dissertation. Particular attention has been paid to the relevant standards (13 in total) related to material testing and the determination of mechanical properties associated with the topic of the dissertation. In addition, 87 literature sources have been reviewed; however, they cover the research problem addressed in the dissertation only partially.

Special emphasis is placed on the influence of aging on the material stress–strain curves, as well as on the methods and equipment used for testing and characterization. The author demonstrates a good understanding of these issues. However, the major classes of constitutive models used by researchers to describe the effects of time, temperature,

moisture, radiation, oxygen, and mechanical loading on the mechanical properties of polymers have not been discussed.

Chapter 1 contains three separate sections entitled "Conclusions," in which the author interprets the reviewed literature and formulates conclusions related to the selection of the additive manufacturing technology, the aging test strategies, and the equipment for accelerated aging and tensile testing employed in the dissertation research.

3. Correspondence between the selected research methodology, the stated aim and objectives of the dissertation, and the achieved contributions

- The following tasks have been identified and successfully accomplished within the dissertation research:
- Methods and equipment for producing natural and accelerated aging of standard polymer test specimens have been designed and implemented;
- Methods and equipment for tensile testing of polymer specimens, as well as procedures for processing the obtained experimental results, have been developed;
- Experimental investigations have been carried out on new specimens as well as on naturally and artificially aged specimens. The influence of exposure time on the mechanical properties has been established. A relationship between natural aging and accelerated aging achieved through the machine and methodology developed within the dissertation has been identified;
- Methodologies for determining and predicting the depth of the degraded layer resulting from natural aging have been proposed on the basis of the author's own experimental results.

The achieved contributions are consistent with the stated aim and objectives of the dissertation, and the methods employed for their achievement are appropriate.

4. Brief analytical characterization of the nature of the research material and assessment of the reliability of the results on which the contributions of the dissertation are based

The contributions of the dissertation are based on the author's own experimental investigations. Tensile test specimens were subjected to both natural and accelerated aging. For this purpose, appropriate technical facilities were designed and manufactured, including a fixture for natural aging and a machine for cyclic water immersion and UV irradiation used to achieve accelerated aging.

Both new and aged specimens were subjected to tensile testing. For this purpose, an existing testing machine was modernized and adapted to the requirements of the research. All technical solutions and experimental investigations were implemented in accordance with the applicable standards.

The proposed experimental procedures and methods for processing the obtained results are described in sufficient detail and can be considered appropriate for the objectives of the study.

5. Scientific and/or applied scientific contributions of the dissertation

The contributions of the dissertation are of an applied scientific and practical nature and may be classified into the following groups:

- *Demonstration, through new means and approaches, of important new aspects of existing scientific problems and theories:* relationships describing the deterioration of mechanical properties as a function of aging time have been established; a graphical correlation between natural and accelerated aging has been identified;
- *Development of new research methods, devices, and technologies:* systems for implementing natural and accelerated aging have been developed; methodologies have been proposed for determining the offset yield strength of polymer materials exhibiting large nonlinear elastic deformations and for predicting the depth of material degradation caused by aging;
- *Acquisition of confirmatory experimental evidence:* tensile test results have been obtained for both new and aged polymer specimens.

The proposed methodologies and the experimental results can be applied in engineering practice and may also serve as a basis for further scientific investigations. The accelerated aging machine developed within the dissertation, as well as the modernized tensile testing machine, remain available for future research activities in the laboratories of the Department of Mechanics.

6. Assessment of the degree of the candidate's personal contribution

I have known the doctoral candidate since 2015, when, as an employee of a foreign company, he sought collaboration with a research team from the Department of Strength of Materials on a number of research-related tasks. Subsequently, I have also known him as a doctoral student and later as an Assistant Professor in the Department of Mechanics.

To the best of my knowledge, the candidate played a leading role in the planning and execution of the experimental investigations. He also made a significant contribution to the processing and analysis of the experimental results, as well as to the development of the methodologies presented in the dissertation.

7. Evaluation of the publications related to the dissertation

Substantial parts of the dissertation have been published in a total of three publications. The first publication appeared in the proceedings of the BulTrans Scientific Conference (2020), which is included in the reference list maintained by NACID. The other two publications were published in a Bulgarian subscription-based journal indexed in Scopus (2024 and 2025) and classified in the Q4 quartile.

To date, these publications have received four citations in publications indexed in Scopus, two of which are in Q1 journals. This information provides sufficient grounds to conclude that the publications are adequate both in terms of quantity and quality.

8. Application of the dissertation results in scientific and social practice. Evidence of direct economic impact

No evidence has been presented regarding the implementation of the dissertation results in practice in a manner that has led to a measurable economic impact. Nevertheless, the dissertation has found application in research activities and demonstrates potential for further development. This is confirmed both by the citations of the related publications in reputable and specialized scientific journals and by the future research activities planned within the Department of Mechanics, which are based on the methods and facilities developed for investigating the aging of polymer materials. Further research is envisaged,

including a more detailed analysis of the relationships between natural and accelerated aging, as well as efforts to describe these relationships through appropriate models.

9. Assessment of the compliance of the extended abstract with the applicable requirements and of the adequacy of the presentation of the main results and contributions of the dissertation

The extended abstract complies with the applicable requirements and adequately reflects the main results and contributions of the dissertation.

During the preparation of a preliminary assessment of the extended abstract, I had the opportunity to provide several recommendations and comments to the doctoral candidate and his supervisor. These were taken into consideration in the final version of the document.

10. Opinions, recommendations, and critical remarks

During the preparation of a preliminary assessment of the dissertation, I had the opportunity to provide a considerable number of recommendations and comments, many of which have been taken into account in the final version. In addition, I would like to make the following remarks:

- The text in Chapter 2 (pp. 60–68) consists largely of excerpts from standards, with only limited author interpretation of the presented material. On pp. 65–68, it is not clear why such extensive attention is devoted to the standard ISO 6892-1 Metallic materials — Tensile testing..., given that no metallic materials are investigated within the dissertation;
- The section entitled “Modernization of the Zwick Testing Machine” (p. 82) is brief and does not adequately demonstrate the improvements made to the machine. No images or descriptions of the newly installed load cell, encoder, and computer software are provided;
- At the bottom of p. 94, the numbers of the cited table and figure are incorrect. In the same passage, based on the presence of linear elastic deformations in the range of 0.6–1.0%, the author concludes that large nonlinear elastic deformations are also present. This conclusion does not follow unambiguously from the presented argument and requires additional justification. Furthermore, it is stated that, for this reason, the offset yield strength cannot be determined according to BDS EN ISO 6892-1:2020, without explaining why a standard intended for testing metallic materials rather than polymer materials should be applied. On this basis, a methodology for determining the offset yield strength of polymers is proposed; however, no justification is provided as to why this particular characteristic is required or to what extent it is appropriate to use it as a strength parameter of the material. The developed methodology adopts a residual plastic strain value of 0.2%, which is characteristic of metallic materials, without providing arguments regarding the applicability of this value to the investigated polymer material, whose deformation behaviour differs substantially from that of metals both during loading and after unloading;
- A major contribution of the dissertation is the established relationship between the natural aging of the material and the accelerated aging achieved through the machine and methodology developed within the dissertation. However, this relationship is presented solely in graphical form. No attempt has been made either to apply existing constitutive models for polymer aging or to develop an original

analytical model capable of summarizing and describing the obtained experimental results. As a consequence, the possibilities for practical application of the identified relationship remain limited;

- The dissertation proposes a methodology for determining the depth of the degraded layer resulting from material aging. Based on the author's own experimental results, a graphical relationship between the duration of natural aging and the depth of the degraded layer is presented. However, no analysis of this relationship is provided. Once again, no attempt has been made to formulate an analytical description of the observed behaviour or to compare the obtained results with established models and published data available in the literature.

11. Conclusion and overall evaluation of the dissertation

In my opinion, the dissertation offers approaches and solutions to a problem of significant importance for engineering practice. The work is of a distinctly experimental nature. The comments presented above should be regarded as recommendations and directions for future research aimed at further developing and extending the achieved results.

The investigated problem is relevant and timely, the stated aim and the formulated research tasks have been successfully accomplished, and the presented applied scientific and practical contributions satisfy the requirements of the Academic Staff Development Act of the Republic of Bulgaria, its Implementing Regulations, and the relevant Regulations of the Technical University of Sofia. This provides sufficient grounds for me to recommend that the Honourable Scientific Jury award to **M.Sc. Eng. Krasimir Veselinov Nikolov** the educational and scientific degree of Doctor in the field of higher education "Technical Sciences", professional field 5.1. "Mechanical Engineering", doctoral programme "Structural Mechanics and Strength of Materials".

Sofia,
09 June 2026

Reviewer:
(Prof. N. D. Nikolov)



Вярно с оригинала

Official purple circular stamp of the Technical University of Sofia, Faculty of Mechanical Engineering. The stamp contains the text "ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ СОФИЯ" and "ФАКУЛТЕТ ПО МЕХАНИКА". A signature is written over the stamp.