



РЕЦЕНЗИЯ

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

Тема на дисертационния труд: **Бързо изграждане и валидиране на качествените показатели на формообразуващи инструменти**

Докторант: **маг. инж. ИВАН СТЕФАНОВ ИВАНОВ**

Рецензент: **проф. д-р инж. ВЕНЦЕСЛАВ ЦВЕТАНОВ ТОШКОВ**

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.

Дисертационният труд е в областта на съвременното машиностроене, като целта на работата е да се предложи стратегия и подходи за разрешаване на разнообразни казуси, относно използването на методики и на съвременни технологии за бързо прототипиране, производство и подобряване на качествените показатели на формообразуващи инструменти, както и за практическото им апробиране в реални производствени условия. Изработен е реален универсален инструмент със сменяеми формообразуващи детайли, направена е икономическа оценка и са формулирани правила за практическото приложение на инструменталните материали и технологии за бързо изработване на формообразуващи инструменти, произвеждани с конвенционални методи. Изследванията и дейностите по отделните задачи в дисертационния труд са извършени в лабораториите „CAD/CAM/CAE в индустрията“ към ФИТ на ТУ-София и „3D Креативност и бързо прототипиране“ към СНИРД, като част от дейностите и изследванията са реализирани при изпълнението на съвместни индустриални проекти с „Арексим инженеринг“ АД. Някои резултати от изследванията са внедрени и се ползват при развитието и създаването на нови продукти на „Арексим инженеринг“ АД. Натрупаният опит в областта на инструменталната екипировка е използван още и от фирма „Солтоформ ЕООД“. Именно така поставената цел и решените задачи за използването на тези иновативни и актуални технологии, както и на подходящи съвременни материали за бързо изработване на формообразуващи инструменти, определят недвусмислено актуалността, значимостта и дисертабилността на темата, на задачите и на самия дисертационен труд като цяло.

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

Дисертационният труд е в обем от 171 стр. и се състои от 7 глави, списъци на приносите, публикациите по дисертацията и използваната литература. Цитирани са общо 167 литературни източници, като 15 са на кирилица и 137 на латиница, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 117 фигури и 54 таблици. В ПЪРВА ГЛАВА на дисертацията е направена подробна литературна справка относно изработването на детайли за формообразуваща инструментална екипировка, изработени чрез RP технологии (Rapid tooling, RT, БФИ) и такива, изработени чрез конвенционални методи. Технологиите и развитието на техниката за бързо прототипиране в редица случаи се застъпват и конкурират със серийното производство, но имат своя съществен принос и предоставят актуални възможности да се изготвят, изпробват и оценят виртуално голям брой решения, без да се правят разходи за реални тестове. Направена е класификация от гледна точка на използваните технологични процеси за изработване на формообразуващите детайли, като методите за бързо изработване на инструменти (RT) са представени и разделени на три подгрупи - „методи чрез репликация“, „методи чрез отнемане на материал“ и „методи с добавяне на материал“.

В резултат на анализа на литературния материал (използвани са общо 167 литературни източника, от които 137 са на латиница, 15 на кирилица, а останалите 12 са интернет адреси, илюстрирани с общо 117 фигури и 54 таблици) във ВТОРА ГЛАВА е дефинирана ЦЕЛТА на дисертационния труд, като СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА НА ФАКТОРИТЕ, КОИТО ВЛИЯТ НА ПРОИЗВОДСТВОТО И ИЗПОЛЗВАНЕТО НА БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ, за постигането на която са формулирани, макар и в неявен вид, конкретни задачи, като: да се направи класификация и подразделяне на инструменталната екипировка от типа бързи формообразуващи инструменти; да се определят критериите, технически предпоставки и икономическите фактори за прилагане на бързи формообразуващи инструменти. По-конкретно фокус на работата е извършването на технически и икономически анализ на конвенционалните и конкурентните им специални методи за производство на бързи формообразуващи инструменти, разработването на стратегия за анализ на жизнения цикъл и на иновативни подходи и методология при проектиране, конструиране и производство на бързи формообразуващи инструменти, изработвани чрез конвенционални технологии, както и апробация на стратегията и методологията чрез приложни практически решения и технико-икономическа оценка на конкретни примери. От интерпретацията на изложения литературен материал и на получените експериментални резултати се вижда, че авторът е напълно запознат и осведомен за състоянието на проблема, както в теоретичен, така и в практически аспект.

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

При разработването на дисертационния труд са използвани и оценени *изследователски методики, методи, технологии*, като методите за бързо изработване на инструменти (Rapid tooling, RT, БФИ), и методите „чрез репликация“, „чрез отнемане на материал“ и „с добавяне на материал“, както и наличната техника и програмни пакети в лабораториите „CAD/CAM/CAE“ в индустрията към ФИТ на ТУ-София и „3D Креативност и бързо прототипиране“ към СНИРД, а една част от дейностите и изследванията са реализирани при използване на опита на фирмите „СПАРКИ ЕЛТОС“ АД, „СОЛТОФОРМ“ ЕООД, Лаборатория „3CLab, АНСА Борима“ и при изпълнението на съвместни индустриални проекти с „Арексим инженеринг“ АД. Прилагани са още методика и подходи за технико-икономическа оценка на материалите, технологиите и технологичните маршрути, използвани за изработването на формообразуващите елементи, както и е предложена стратегия за анализ, реализация и за определяне на жизнения цикъл на изследваната инструментална екипировка. От изложеното се вижда, че авторът е имал възможност да използва и да прилага редица съвременни методи, технологии и производствен опит на водещи фирми и да анализира информация, получена с помощта на модерни изследователски методики, методи, програмни пакети и фирмен опит, *което му е позволило да погледне фактите под различен ъгъл и да достигне до обобщения и изводи, които звучат убедително и не подлежат на съмнение.*

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

Изследванията по дисертацията са извършени в лабораториите „CAD/CAM/CAE“ в индустрията към ФИТ на ТУ-София и „3D Креативност и бързо прототипиране“ към СНИРД, а една част от дейностите и изследванията са реализирани при използване на опита на фирмите „СПАРКИ ЕЛТОС“ АД, „СОЛТОФОРМ“ ЕООД, Лаборатория „3CLab, АНСА Борима“ и при изпълнението на съвместни индустриални проекти с „Арексим инженеринг“. Всичко изложено по-горе в т.3, относно използваните изследователски методики, методи, технологии и програмни пакети, *е гаранция за достоверността и научната стойност на получените от докторанта експериментални резултати*, доказателство за което са приетите и отпечатани в реномирани списания публикации на докторанта.

5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд

Представеният труд има научни и приложни приноси, които групирам по следния начин:

5.1. Формулиране или обосноваване на нов научен проблем (област) или нова теория (хипотеза)

Считам, че дисертацията няма приноси в тази група.

5.2. Доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и теории

5.2.1. Доказана е възможността за използване на изведената от автора величина C_{vi} , която отчита характеристиките и цената на конкретен материал при изработването на шприцовани детайли, както и на величината S_f за изследване на производителността при финална обработка;

5.3. Създаване на нови класификации, методи на изследване, нови конструкции, технологии, препарати и т. н.

5.3.1. Разработена е методика за количествена оценка относно прилагането на конкретен материал във формообразуващите инструменти;

5.3.2. Разработени са стратегия и методология за проектиране, изработване и приложимост на бързите формообразуващи инструменти в индустрията;

5.3.3. Чрез използване на величините C_{vi} и S_f са разработени методики за количествена оценка за пригодността на конкретен материал за изработване на формообразуващите инструменти и за изследване на производителността при финална обработка;

5.4. Получаване и доказване на нови факти

5.4.1. Получени са нови данни за приложимостта на „директните“ и „косвените“ методи, а именно че „директните“ методи отговарят най-добре, докато „косвените“ методи не отговарят на стандартите и добрите практики, използвани от фирмите за производство на формообразуваща инструментална екипировка;

5.4.2. Установено е, че използването на наличните понастоящем адитивни технологии не е подходящо за изработване на инструменти със сложни делителни и формообразуващи повърхности, тъй като с определени ограничения по отношение на якост, точност и качество на повърхностите и се налага допълнителна механична обработка на тези повърхности;

5.5. Приноси, свързани с практиката

5.5.1. На база на направената оценка и систематизация на методите за производството на бързи формообразуващи инструменти чрез конвенционални технологии е определена „т. нар. зона

на ефективна приложимост“. Формулирани са правила относно прилагането на бързи формообразуващи инструменти, изработвани с конвенционални методи;

5.5.2. *Установено е*, че методи за производство на формообразуваща инструментална екипировка за серийно и масово производство са приложими при производство на бързи формообразуващи инструменти. Понастоящем съществуват редица готови решения за стандартни елементи, които могат да се използват успешно за производството на бързи формообразуващи инструменти. Възможно е да се изработват бързи формообразуващи инструменти с голяма трайност;

5.5.3. *Разработен е и апробиран подход* за усъвършенстване и подобряване на ефективността на изследваните методи, както и *е предложено решение и подход* за производството на малки серии детайли и изделия с универсален инструмент и скъсен срок на внедряване. Предложено е решение за странично шприцване на пластмасови изделия с бързи формообразуващи инструменти;

5.5.4. *Установено е*, че използването на алуминиеви сплави, обработвани с конвенционални технологии, е перспективно при изработването на формообразуващи елементи и се конкурира успешно със съвременните адитивни методи по отношение на време и цена;

5.5.5. *Установено е*, че планирането на целия жизнен цикъл играе съществена роля за ефективността по отношение на финанси и време при производството на бързите формообразуващи инструменти, изработени с конвенционални методи. *Доказано е*, че бързите инструменти, изработвани чрез конвенционални технологии, са икономически изгодни и могат да се конкурират успешно с инструментите, изработвани чрез разгледаните алтернативни методи;

5.5.6. На базата на разработената стратегия и методология за бързи формообразуващи инструменти е проектиран и е изработен реален универсален инструмент със сменяеми формообразуващи детайли, който е апробиран в производствени условия.

В общи линии това са основните приноси на дисертационния труд. Всички те *са с характер на „научно-приложни“ и „приложни“ приноси и определят недвусмислено актуалността и значимостта на дисертационния труд за науката и съвременната практика.*

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

От изложеното по-горе в т.2 и т.3 относно литературния преглед, както и от обсъждането и анализа на експерименталните резултати и на всичко изложено в глави III÷VII, вкл. и от направените публикации, може да се заключи, че *авторът не само е напълно запознат и осведомен за състоянието на проблема, но владее, използва и прилага успешно иновативни методи, подходи,*

програмни пакети и съвременни технологии, както и че има активно и водещо участие при провеждането на съответните изследвания и анализа на получения експериментален материал.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Основните резултати от дисертационния труд са публикувани в 5 броя статии в български и международни издания, някои от които са реферирани и в SCOPUS. От тях една е самостоятелна и е отпечатана в Proceedings of the Technical University of Sofia - 2024, две са отпечатани в сборници на Latvia Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference и други две са докладвани на конференции с международно участие в България. В две от статиите докторантът е на трето място, в една – на четвърто и в една – на пето място. Считам, че публикациите отразяват основните моменти от дисертацията и че научните постижения на автора са огласени достатъчно широко не само у нас, но и в чужбина.

8. Мнения, препоръки и бележки

Към дисертационния труд бих имал някои бележки от редакционно естество, но нямам забележки по същество, както и препоръки към досегашната и бъдещата дейност на докторанта. Засега за съжаление не разполагам с информация и не са ми известни цитирания във връзка с публикациите на докторанта.

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

Както бе посочено по-горе в т. 1 част от изследванията са реализирани при изпълнението на съвместни индустриални проекти с „Арексим инженеринг“ АД, като някои от резултатите от изследванията са внедрени и се ползват при развитието и създаването на нови продукти на „Арексим инженеринг“ АД. Натрупаният опит в областта на инструменталната екипировка е използван още и от фирма „Солтоформ ЕООД“. Нямам обаче сведения и доказателства за постигнат пряк икономически ефект от внедряването на постигнатите от докторанта резултати в практиката.

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

Считам, че авторефератът е изготвен съгласно изискванията и отразява цялостно

същността и основните приноси моменти на дисертационната работа. Нямам бележки към неговата структура и съдържание, макар че не разполагам с отпечатан екземпляр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Като изхождам от посочените по-горе приноси моменти на дисертационния труд, от несъмнената теоретична и практическа значимост на получените резултати, както и от направените публикации, си позволявам да препоръчам на Почитаемото НАУЧНО ЖУРИ да присъди на маг. инж. **ИВАН СТЕФАНОВ ИВАНОВ** образователната и научна степен „ДОКТОР“.

10.03. 2025 г.

РЕЦЕНЗЕНТ:

/Проф. д-р В. Тошков/



REVIEW

on a dissertation for obtaining an educational and scientific degree "Doctor"

Topic of the dissertation: **Rapid manufacturing and validation of quality indicators of forming tools**

Author of the dissertation: **MSc. Eng. IVAN STEFANOV IVANOV**

Member of the scientific jury: **Prof. DSc Eng. VENTSESLAV TSVETANOV TOSHKOV**

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and applied scientific aspects. Degree and levels of relevance of the problem and specific tasks developed in the dissertation.

The dissertation is in the field of modern mechanical engineering, with the aim of proposing a strategy and approaches for solving various cases related to the use of methodologies and modern technologies for rapid prototyping, production, and improvement of the quality indicators of forming tools, as well as their practical validation in real production conditions. A real universal tool with replaceable forming components has been developed, an economic evaluation has been conducted, and rules for the practical application of tooling materials and technologies for the rapid manufacturing of forming tools produced using conventional methods have been formulated. The research and activities related to the individual tasks in the dissertation were carried out in the "CAD/CAM/CAE in Industry" laboratories at the Faculty of Industrial Technology of TU-Sofia and "3D Creativity and Rapid Prototyping" at SNRID. Some of the research results have been implemented and are used in the development and creation of new products by "Arexim Engineering" AD. The accumulated experience in the field of tooling has also been utilized by "Soltoform Ltd." The formulated goal and addressed tasks related to these innovative and relevant technologies, as well as the selection of appropriate modern materials for the rapid manufacturing of forming tools, unequivocally determine the relevance, significance, and dissertation-worthiness of the topic, the tasks, and the dissertation as a whole.

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

The dissertation comprises 171 pages and consists of seven chapters, lists of contributions, publications related to the dissertation, and references. A total of 167 literature sources are cited, including

15 in Cyrillic, 137 in Latin, and the remaining ones as internet sources. The work includes a total of 117 figures and 54 tables. The FIRST CHAPTER of the dissertation provides a detailed literature review regarding the production of parts for forming tooling, manufactured using RP technologies (Rapid Tooling, RT, BFI) and those produced through conventional methods. Technologies and advancements in rapid prototyping in many cases overlap and compete with serial production, but they also have significant contributions and provide relevant opportunities to prepare, test, and evaluate a large number of solutions virtually without incurring costs for real tests. A classification of technological processes for manufacturing forming components is made, with rapid tooling (RT) methods presented and divided into three subgroups – "replication methods," "material removal methods," and "material addition methods."

As a result of the analysis of the literary material (a total of 167 sources, of which 137 are in Latin, 15 in Cyrillic, and the remaining 12 are internet sources, illustrated with 117 figures and 54 tables), in the SECOND CHAPTER, the OBJECTIVE of the dissertation is defined as the SYSTEMATIZATION AND EVALUATION OF FACTORS INFLUENCING THE MANUFACTURING AND USE OF RAPID FORMING TOOLS. To achieve this objective, specific tasks have been formulated, though implicitly, such as: classifying and subdividing tooling of the rapid forming tool type; determining criteria, technical prerequisites, and economic factors for the application of rapid forming tools. The research specifically focuses on performing a technical and economic analysis of conventional and competing special methods for manufacturing rapid forming tools, developing a strategy for life cycle analysis and innovative approaches and methodology in the design, construction, and production of rapid forming tools manufactured by conventional technologies, as well as validation of the strategy and methodology through applied practical solutions and a techno-economic evaluation of specific cases. From the interpretation of the reviewed literature and the obtained experimental results, it is evident that the author is fully familiar with and informed about the state of the problem, both in theoretical and practical aspects.

3. Compliance of the selected research methodology with the set goal and tasks of the dissertation and the achieved contributions

In the development of the dissertation, research methodologies, methods, and technologies have been used and evaluated, including rapid tooling (RT, BFI) methods, as well as "replication methods," "material removal methods," and "material addition methods," alongside the available equipment and software packages in the "CAD/CAM/CAE in Industry" laboratories at the Faculty of Industrial Technology at TU-Sofia and "3D Creativity and Rapid Prototyping" at SNRID. Some of the activities and research were carried out utilizing the experience of companies such as "SPARKY ELTOS" AD, "SOLTOFORM" Ltd., Laboratory "3CLab, ANSA Borima," and within the framework of joint industrial projects with "Arexim Engineering" AD. Furthermore, methodologies and approaches for the techno-economic evaluation of

materials, technologies, and technological routes used in the production of forming components were applied. A strategy was proposed for analyzing, implementing, and determining the life cycle of the studied tooling. The presented information demonstrates that the author had the opportunity to utilize and apply a range of modern methods, technologies, and industrial experience from leading companies, and to analyze information obtained through advanced research methodologies, methods, software packages, and industrial expertise, enabling a comprehensive perspective on the facts and the derivation of convincing conclusions and summaries.

4. *Brief analytical characterization of the nature and reliability of the material on which the dissertation's contributions are based*

The research in the dissertation was conducted in the "CAD/CAM/CAE in Industry" laboratories at the Faculty of Industrial Technology of TU-Sofia and "3D Creativity and Rapid Prototyping" at SNRID. Some activities and research were carried out utilizing the experience of "SPARKY ELTOS" AD, "SOLTOFORM" Ltd., Laboratory "3CLab, ANSA Borima," and joint industrial projects with "Arexim Engineering." Everything outlined in section 3 regarding the applied research methodologies, methods, technologies, and software packages guarantees the reliability and scientific value of the experimental results obtained by the doctoral candidate, as evidenced by accepted and published articles in reputable journals.

5. *Scientific and/or Applied Scientific Contributions of the Dissertation*

The presented dissertation has scientific and applied contributions, which I categorize as follows:

5.1. *Formulation or Justification of a New Scientific Problem (Field) or a New Theory (Hypothesis)*

I believe that the dissertation does not contribute to this category.

5.2. *Proof of Essential New Aspects of Existing Scientific Problems and Theories Using New Methods*

5.2.1. The dissertation demonstrates the possibility of using the author's derived parameter C_{vi} , which accounts for the characteristics and cost of a specific material in the production of injection-molded parts, as well as the parameter S_f for evaluating productivity in finishing processes.

5.3. Creation of New Classifications, Research Methods, New Designs, Technologies, Preparations, etc.

5.3.1. A methodology for quantitative assessment of the application of a specific material in forming tools has been developed.

5.3.2. A strategy and methodology for the design, manufacturing, and applicability of rapid forming tools in the industry have been developed.

5.3.3. By utilizing the *C_{vi}* and *S_f* parameters, methodologies for quantitative assessment of material suitability for forming tools and productivity analysis in finishing processes have been developed.

5.4. Discovery and Proof of New Facts

5.4.1. New data have been obtained regarding the applicability of “direct” and “indirect” methods, demonstrating that “direct” methods are most suitable, whereas “indirect” methods do not comply with industry standards and best practices used in forming tool manufacturing.

5.4.2. It has been established that currently available additive manufacturing technologies are not suitable for producing tools with complex parting and forming surfaces due to limitations in strength, precision, and surface quality, requiring additional mechanical processing.

5.5. Contributions Related to Practical Applications

5.5.1. Based on an evaluation and systematization of conventional rapid forming tool production methods, the so-called "zone of effective applicability" has been defined. Guidelines for the use of conventionally manufactured rapid forming tools have been formulated.

5.5.2. It has been established that methods for manufacturing forming tools for serial and mass production can be applied to rapid forming tools. Numerous existing standardized elements can be successfully utilized in rapid forming tool production, enabling the manufacturing of durable rapid forming tools.

5.5.3. An approach for optimizing and improving the efficiency of studied methods has been developed and tested. A solution and approach for producing small series of parts and products using a

universal tool with a shortened implementation period have been proposed. A method for side injection molding of plastic products using rapid forming tools has also been suggested.

5.5.4. It has been determined that aluminum alloys processed with conventional technologies offer a promising alternative for forming tool components, competing successfully with modern additive methods in terms of time and cost.

5.5.5. It has been established that comprehensive lifecycle planning plays a crucial role in financial and time efficiency when producing conventionally manufactured rapid forming tools. The research confirms that such tools are economically viable and competitive with alternative manufacturing methods.

5.5.6. Based on the developed strategy and methodology for rapid forming tools, a real universal tool with interchangeable forming components has been designed, manufactured, and tested in production conditions.

In summary, these are the main contributions of the dissertation. They are all characterized as “**scientific-applied**” and “**applied**” contributions, unambiguously confirming the relevance and significance of the dissertation for both science and modern industrial practice.

6. Evaluation of the Doctoral Candidate’s Personal Contribution to the Research

From the literature review (Sections 2 and 3), as well as from the discussion and analysis of experimental results in Chapters III-VII, including published research, it can be concluded that the author is not only well-acquainted with the state of the problem but also successfully applies innovative methods, approaches, software packages, and modern technologies. The doctoral candidate has played an active and leading role in conducting the research and analyzing the experimental data.

7. Assessment of Publications Related to the Dissertation

The main results of the dissertation have been published in **five articles** in Bulgarian and international journals, some of which are indexed in SCOPUS. One article, independently authored by the candidate, was published in **Proceedings of the Technical University of Sofia – 2024**. Two articles were published in **Latvia Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference**, and two were presented at international conferences in Bulgaria. In two of the articles, the doctoral candidate is listed as the **third author**, in one as the **fourth**, and in another as the **fifth**. I consider these publications to sufficiently reflect the key aspects of the dissertation and believe that the candidate’s scientific achievements have been widely disseminated both domestically and internationally.

8. *Opinions, Recommendations, and Notes*

I have some editorial remarks regarding the dissertation but **no substantive criticisms**. Additionally, I do not have any specific recommendations for the candidate's future work. At present, I am unaware of any citations related to the doctoral candidate's publications.

9. *Utilization of the Dissertation Results in Scientific and Social Practice*

As mentioned in **Section 1**, some of the research has been conducted within **joint industrial projects with "Arexim Engineering" AD**, with certain results already implemented in the development of new products by the company. Furthermore, the accumulated experience in tooling equipment has also been utilized by **"Soltoform" Ltd**. However, I do not have information or evidence of a direct economic impact resulting from the implementation of the candidate's research in practice.

10. *Assessment of the Dissertation Abstract's Compliance with Requirements*

I believe that the abstract has been prepared in accordance with the required standards and adequately reflects the core essence and key contributions of the dissertation. I have no comments on its structure or content, although I do not possess a printed copy.

CONCLUSION

Based on the above contributions, the **undeniable theoretical and practical significance** of the obtained results, as well as the **published research**, I respectfully recommend that the Honorable **Scientific Jury** award **M.Eng. IVAN STEFANOV IVANOV** the educational and scientific degree **"Doctor"**.

10.03. 2025 г.

REVIEWER:

/ Prof. DSc. V. Toshkov /