

До Председателя на научно жури
определено със заповед № 3-01-298/15.07.2025 г.
на Технически университет - Габрово

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на ОНС "доктор" в
област на висше образование – 5. Технически науки
професионално направление 5.6. Материали и материалознание
научна специалност – „Матералознание и технология на машиностроителните
материалите”

Автор: инж. Симеон Цанков Ценкуловски

Форма на докторантурата: задочна

Научна организация: ТУ Габрово

Тема: Особенности при лазерно маркиране на слоесто армирани композити на полимерна основа

Научен ръководител: доц. д-р инж. Иван Ненов Митев

Рецензент: проф. дн Мария Пламенова Николова

1. Кратки биографични данни за докторанта

Симеон Цанков Ценкуловски е инженер с дългогодишен опит в машиностроенето и управлението на технически проекти. Завършил е електроенергетика в ТУ – София и Международни икономически отношения в СА „Д.А. Ценов“ – Свищов. Авторът на дисертационния труд е докторант в задочна форма на докторантура към катедра „Материалознание и механика на материалите“, Факултет "Машиностроене и уредостроене" на ТУ-Габрово. Професионалният му път включва ръководни позиции в компании като „Импулс“ АД, „ГТМ Инженеринг“, „Новотика 95“, „Маштех БГ“ и „АДТЕХ“, където управлява екипи и процеси по разработване и внедряване на иновативни продукти, ERP системи и технологии. Владее отлично английски език и има умения в CAD/CAM, ERP платформи и CNC технологии. Притежава силен опит в управление на екипи, проекти и производствени процеси.

2. Актуалност на тематиката и целесъобразност на поставените цели и задачи

Слоестите армирани композити се използват все по-широко, заради ниско тегло и висока якост, химичната устойчивост и дизайнерска гъвкавост като нуждата от ефективни, безконтактни, прецизни методи за маркиране върху тези повърхности все повече нараства. С въвеждането на "Индустрия 4.0", проследимостта по време на производството е ключова, а лазерното маркиране позволява директно въздействие върху повърхността при нанасяне на серийни номера, QR/2D баркодове, инженерна информация и др. Лазерното маркиране на слоести армирани полимерни композити е актуална, интердисциплинарна тема, която комбинира лазерна физика, материалознание, обработване на повърхности и

производствена метрология. Пред този подход, обаче, стоят предизвикателства, свързани с разликата в абсорбция на лазерната енергия от армиращия елемент и матрицата, както и необходимостта от оптимизация на параметрите за различни видове композити. Целта на дисертационния труд е именно създаването на уредба за лазерно маркиране, както и изследване и оптимизиране на параметрите на процеса лазерно маркиране на слоесто армирани композитни материали на полимерна основа, което прави труда актуален и важен за съвременните инженерни изследвания.

3. Обзор на цитираната литература

В дисертацията са използвани 186 източника, включващи учебници, дисертации, статии, доклади, нормативна литература и технически каталози. Източниците на български език са близо 90 броя, на английски – 75 бр. и 20 бр. на руски език. Публикациите за последните 5 години (2019–2024) са около 40, включително актуални изследвания по лазерно маркиране, оптимизация на процеси и нови материали. Литературата е многообхватна, балансирана и актуална, като съчетава теоретична основа от класически трудове, практически насочени източници за индустриални приложения, научни публикации от последните години, включително с импакт фактор. Този подбор осигурява стабилна научна и приложна основа за изследванията в дисертацията.

4. Методика на изследването

Методологията обхваща експериментално-аналитичен подход, включващ следните ключови етапи: 1) разработване на експериментална уредба - Fiber лазер с мощност 50 W с възможности за прецизно управление на фокус и движение; 2) определяне на геометрични параметри на маркировка с измерителен микроскоп PHILIPS URD и софтуер INSIZE ISD-V150 – в точка и равнина; 3) измерване на грапавост с профиломер ZEISS по стандарти и 4) моделиране с кибернетични и регресионни модели от втори ред, верифицирани чрез критерий на Стюдент (t-тест), Фишер (F-тест) и коефициент на множествена корелация R. Методиката е логически структурирана и научно обоснована. Тя комбинира експериментални измервания, стандартизирани процедури и математическо моделиране и дава възможност за количествено изследване на влиянието на входните параметри върху изходните характеристики на маркировката. С малки изключения, методиката осигурява адекватна основа за постигане на целта, отговори на поставените задачи и получаване на приложими резултати, които имат практическо значение за оптимизация на лазерното маркиране на неметални композитни материали.

5. Характеристика и оценка на дисертационния труд

Дисертацията се състои от 130 стр. и е разделена на 5 основни глави. Общият брой на фигурите е 74, а на таблиците – 21.

В **глава 1** са разгледани основите на лазерната технология и са представени принципите на взаимодействие между лазерното лъчение и материалите – абсорбция, топене, изпарение, плазмообразуване. Обсъдено е приложението на лазерите в маркиране и микрообработване, както и е направен сравнителен анализ с други методи. Главата осигурява стабилна научна основа, като поставя теоретичната рамка на изследването. Добре аргументира избора на лазерна технология за неметални композити.

Глава 2 описва типовете армировки (стъклени, въглеродни влакна), видове полимерни матрици и характеристиките на състава. Анализирани са физико-механичните свойства,

повърхностната топлопроводимост и устойчивостта при лазерно обработване. Представени са типовете ефекти/повреди при маркиране: разслояване, овъгляване, деформации. Главата аргументира избора на материал (текстолит, стъклотекстолит) и подчертава ключовите свойства, влияещи върху процеса като създава контекст за по-късните експерименти.

Глава 3 обръща внимание на влиянието на мощност, скорост и фокус върху нагряването на повърхността и моделирането на преноса на топлина по време на импулсно маркиране. Въведени са зависимости за изчисляване на дълбочина и ширина на топлинния отпечатък. Главата служи като мост между теорията и практиката и дава количествени параметри, които подпомагат експерименталния дизайн в следващата глава.

Глава 4 „Определяне на технологични параметри на процеса“ е описана експерименталната постановка: уредба с Fiber лазер, типове проби, методи за измерване (микроскоп, профиломер). Проведени са опити с променливи параметри: мощност, скорост, честота на импулсите. Измерени са качествени и количествени характеристики на маркировките – геометрия, грапавост, визуален контраст. Главата е централна за емпиричната част на дисертацията. Използваният подходът е систематичен и обоснован.

В **Глава 5 „Математични модели и оптимизиране на технологичните процеси“** е използван план на експеримента и регресионен анализ от втори ред, чрез които са изведени уравнения, описващи влиянието на факторите върху резултатите (дълбочина, грапавост, ширина на маркировка). Проведена е статистическа проверка чрез t-критерий и F-критерий, потвърждаваща надеждността на моделите. Предложени са оптимални параметри за качествено маркиране. Главата финализира изследването с количествена оптимизация. Методите са коректно приложени, резултатите – интерпретирани логично, а изводите – приложими на практика.

Съдържанието на всяка глава е последователно и логично свързано. Изследването преминава от теория, през материалознание и физични основи, до реални експерименти и оптимизация, което напълно съответства на поставената цел и задачи на дисертацията. Направените изводи от дисертационния труд са адекватни на поставената цел и задачи.

6. Приноси и значимост на разработката за науката и практиката

Приносите на дисертационния труд са значими от научно-приложна и приложна гледна точка. Формулирани са 4 приноса, като 3 от тях са научно-приложни (оригинални и потвърдителни) и 1 – приложен.

Сред основните **научно-приложни постижения** са:

- Концептуален модел за изработване на лазерна установка, за маркиране на слоесто армирани композити на полимерна основа.
- Математични модели на влиянието на мощността на лъча и скоростта на маркиране върху дълбочината на проникване и широчината на лазерния щрих при лазерно маркиране на текстолит и стъклотекстолит.
- Установени са отговорите на два материала (текстолит и стъклотекстолит) в аспект характеристики на маркировъчния щрих, предизвикани от параметрите на процеса лазерно маркиране.

Приложният принос, формулиран от автора, е свързан със създаването на лазерна установка за маркиране на слоесто армирани композити на полимерна основа.

Научно-приложните и приложните постижения дават нов принос в изследването на лазерно маркиране на неметални композитни материали – област, слабо изследвана досега. Включват експериментално валидирани математически модели, реални инженерни реализации и алгоритми за оптимизация, приложими в реално индустриално производство. Те подкрепят целта и задачите на дисертацията и имат висока практическа стойност за машиностроенето, електрониката и др.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Докторантът е приложил 8 публикации по дисертационния труд. От тях три са в академични списания („Индустриални технологии“ на Бургаски държавен университет „Проф. д-р Асен Златаров“ и Известия на Техническия университет – Габрово). Две от публикациите са индексирани в Scopus (International Scientific and Practical Conference 2023 и 2024), което осигурява международна видимост и достъпност на резултатите. В пет от статиите (включително една от реферираните в Scopus) дисертантът е първи автор, а в останалите три – втори автор.

Тематично статиите покриват всички ключови аспекти от дисертационното изследване: моделиране, експерименти, анализ и оптимизация. Към момента на дисертацията, две от публикациите в Scopus имат общо 10 документирани цитата. Те са представени на международни симпозиуми в България (International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance“ 2022 и 2023) и чужбина (International Scientific and Practical Conference), което предполага и бъдещо цитиране от специалисти в областта на лазерното обработване, композитните материали и индустриалната метрология. За по-широка видимост, препоръчвам на докторантът да се насочи към публикуване в реферирани международни списания при бъдещите си изследвания.

8. Лично участие на докторанта, оригиналност и автентичност на дисертационния труд

Не познавам лично инж. Симеон Ценкуловски и не разполагам с преки впечатления за него. Оценката ми се основава на съдържанието на дисертационния труд и на неговия професионален опит. Особено впечатление прави активното му участие в разработването на полезни модели и патенти – както пряко свързани с темата на дисертацията, така и извън нейния обхват. Това недвусмислено свидетелства за водещата роля на автора в постигнатите научни резултати и за неговия потенциал за бъдещо развитие в научната област.

9. Автореферат

Авторефератът е в обем от 34 страници. Всяка от 5-те глави е описана кратко, но достатъчно съдържателно. За доброто възприятие и разбиране на работата допринасят и илюстрациите в него. Като цяло авторефератът е добре структуриран. Той дава ясна представа за съдържанието на работата, постигнатите резултати и приносите на дисертационния труд.

10. Коментари, препоръки и забележки по дисертационния труд

Към дисертационния труд имам следните коментари и препоръки:

- Добре е в методиката на дисертацията да се посочи и апаратурата за заснемане на макроснимките, посочени на фиг. 4.1 и 4.2.;
- На фиг. 4.1 до 4.4 не е ясно използваното увеличение;

- На фиг. 4.17 до 4.19 липсва размерна линия на изображенията;
- Допуснати са редица технически неточности като пунктуационни, граматични грешки и грешки при форматиране на текста.

Към автора имам и следните **критични бележки**:

- Не мога да се съглася с класификацията, поместена на стр. 57, а именно: „Към органичните неметални материали се отнасят силикатните материали: стъкло и изделия от стъкло, керамика и керамични изделия.“ и „Към неорганичните неметални материали се отнася голямата група на полимерите. Те представляват една значителна част от съвременните материали (пластмаси, каучуци, дървесина, текстил и др.).“ Освен това, матрицата в композитните материали не е задължително да бъде „полимерни свързваща фаза“, а може да е различна от посочената. По мое мнение, „биоматериалите“ по природа могат да бъдат отнесени към останалите 3 групи (А, Б или В), а не да се отделят в допълнителна група;
- При образци със слаба отражателна способност и малък контраст, поради овъгляване на повърхността и силна неравност, анализът на дълбочината на въздействие, базиран само на оптични способности, може да бъде подвеждащ, поради неравномерно разсейване, неясни контури и други ефекти, които се забелязват при микроскопските изображения. Високата грапавост и локалната променена микрогеометрия не позволяват фокусиране на всички нива. Ето защо е добре е част от резултатите (особено тези за следи, получени при по-висока мощност и малки скорости, където овъгляването е съществено, а дълбочините на въздействие – по-големи) да бъдат потвърдени с уред за контактно измерване на профила. Тази неточност при измерванията може да е причина за по-голямото разминаване на експерименталните резултати от теоретичните при тези образци.

12. Заключение

Дисертационният труд съдържа научно-приложни и приложни резултати, които представляват оригинален принос в науката и отговарят на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ) и правилника за приложението му. Постигнатите резултати показват, че докторантът притежава теоретични знания и професионални умения по научна специалност и демонстрира и умения за самостоятелно провеждане на научно изследване.

Гореизложеното ми дава основание да предложа на научно жури да присъди образователна и научната степен „доктор“ на инж. Симеон Ценкуловски в област на висше образование – 5. Технически науки, професионално направление – 5.1. Машинно инженерство, специалност – „Матералознание и технология на машиностроителните материали“.

19.08.2025 г.
гр. Русе

.....
/проф. дн Мария Николова/