

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<ol style="list-style-type: none">1. Датум и орган који је именовоа комисију На основу предлога Катедре за технологије обликовањем и инжењерство површина, одлуке Наставно-научног већа Департамана за производно машинство и одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука, Декан Факултета техничких наука, решењем број 012-72/34-2015 од 30.03.2017. године именовоа је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:<ol style="list-style-type: none">1. Др Драгиша Вилотић, редовни професор, ПРЕДСЕДНИК, ужа област: Технологија пластичног деформисања, адитивне и виртуелне технологије, изабран у звање редовног професора 21.05.1998.год., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука2. Др Весна Мандић, редовни професор, ЧЛАН, ужа област: Машинско инжењерство-производно машинство и индустријски инжењеринг, изабрана у звање редовног професора 27.12.2013. год., Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука.3. Др Бранко Шкорић, редовни професор, ЧЛАН, ужа област: Ливење, термичка обрада, инжењерство површина и нанотехнологије, изабран у звање редовног професора 13.06.2011. год., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.4. Др Драган Рајновић, доцент, ЧЛАН, ужа област: Материјали и технологије спајања, изабран у звање доцента 13.11.2015. год., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.5. Др Огњан Лужанин, ванредни професор, МЕНТОР, ужа област: Технологија пластичног деформисања, адитивне и виртуелне технологије, изабран у звање ванредног професора 03.12.2014. год., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none">1. Име, име једног родитеља, презиме: Дејан, Звонимир, Моврин2. Датум рођења, општина, држава: 30.04.1980., Шабац, Р Србија3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука Нови Сад, Производно машинство, Дипломирани машински инжењер4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија -5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Факултет техничких наука Нови Сад, Експериментална и нумеричка анализа деформабилности материјала у процесима хладног сабијања Научна област: Машинство, 10. 06. 2013.

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

Техничко-технолошке науке; Машинство

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Оптимизација параметара постпроцесирања у технологији везивне 3Д штампе

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Докторска дисертација мр Дејана Моврина под насловом **Оптимизација параметара постпроцесирања у технологији везивне 3Д штампе** изложена је у 14 поглавља, на 108 страна, садржи 79 слика/графикана/шема/дијаграма, 25 табела и 103 литературне референце. Испред основног дела текста у раду су дати: наслов рада, кључна документацијска информација, попис слика, табела и резиме.

Дисертација је организована у четрнаест целина:

1. Увод
2. Адитивне технологије
3. Преглед досадашњих истраживања у подручју везивне 3Д штампе
4. Потребне за истраживањем, предмет и циљ истраживања
5. Везивна 3Д штампа
6. Постпроцесирање у технологији везивне 3Д штампе (инфилтрација)
7. Анализа DSD факторног плана експеримента (Definitive Screening Design)
8. Избор кључних параметара постпроцесирања
9. Дефинисање плана експеримента
10. Експериментална истраживања
11. Дискусија резултата
12. Закључци
13. Научни допринос истраживања и могућност примене у пракси
14. Литература

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Поглавље 1 Увод

У уводном поглављу објашњени су принципи технологија за адитивну производњу (АМ) са освртом на њихову примену у изради прототипова и производа. Такође, објашњена је потреба за применом и развојем технологија за адитивну производњу са становишта захтева тржишта, као и њихове предности и недостаци. Посебан осврт дат је на начин побољшавања механичких карактеристика израђених делова.

Поглавље 2 Адитивне технологије

У другом поглављу дат је кратак историјски осврт на развој АМ технологија као и њихова актуелна стандардизована подела. Посебан део поглавља посвећен је принципу функционисања АМ технологија и области њихове примене. Обрађен је и економски аспект примене АМ технологија кроз смањење времена и трошкова производње делова у индустрији. Дат је приказ нивоа њиховог коришћења и могућност коришћења спреге са конвенционалном производњом. Кроз ово поглавље наведени су и фактори који утичу на механичке карактеристике израђених делова, што представља основу истраживања у дисертацији.

Поглавље 3 Преглед досадашњих истраживања у подручју везивне 3Д штампе

У трећем поглављу приказана су истраживања у подручју везивне 3Д штампе. Приказана истраживања су подељна у две групе у зависности од специфичних циљева, који су усмерени ка: (i) повећању тачности добијених модела и (ii) повишењу механичких карактеристика модела. Посебан акценат стављен је на истраживања утицаја параметара постпроцесирања на механичке карактеристике радних предмета.

Поглавље 4 Потребе за истраживањем, предмет и циљ истраживања

У четвртом поглављу представљена је потреба за истраживањима у области везивне 3Д штампе, дефинисани су глобални циљ и специфични циљеви.

Поглавље 5 Везивна 3Д штампа

У петом поглављу разматрани су принципи функционисања технологије везивне 3Д штампе. Кроз поглавље је детаљно описан начин рада уређаја за везивну 3Д штампу, предности/недостаци и ограничења, могућности за примену и област примене ове технологије. Приказане су врсте материјала које се примењују у технологији везивне 3Д штампе (прах, везивно средство и инфилтранти).

Поглавље 6 Постпроцесирање у технологији везивне 3Д штампе (инфилтрација)

Кроз поглавље шест описан је поступак инфилтрације ради добијања финалних механичких карактеристика радних предмета. Дата је подела инфилтраната са описом карактеристика инфилтрираних делова у зависности од врсте коришћеног инфилтранта. За две најчешће коришћене врсте инфилтранта, цијаноакрилате и епоксидне инфилтранте, дата је анализа хемијске структуре, као и њихових предности и недостатака.

Поглавље 7 Анализа DSD факторног плана експеримента (Definitive Screening Design)

У поглављу 7 анализиран је DSD (*Definitive Screening Design*) факторни план експеримента. DSD је коришћен за формирање табеле експеримента и анализу резултата главног експеримента у дисертацији. Приказана је структура DSD дизајна експеримента, анализирана конференцијска матрица која се користи при креирању DSD и наведене су предности DSD факторног плана експеримента у односу на класичан скрининг дизајн.

Поглавље 8 Избор кључних параметара постпроцесирања

На успешност процеса постпроцесирања, а самим тим и на механичке карактеристике модела, утиче низ параметара. У поглављу 8 је извршен избор кључних параметара процеса и усвојене су њихове вредности. На основу претходних истраживања кандидата, као и релевантних литературних извора, дефинисани су кључни параметри процеса инфилтрације и то: врста коришћеног инфилтранта, начин наношења инфилтранта, температуре на којима се одвијају различите фазе процеса, време сушења епрувета након израде, време припреме инфилтранта и време трајања инфилтрације, те потпритисак на којем се одвијају припрема инфилтранта и инфилтрација.

Поглавље 9 Дефинисање плана експеримента

У поглављу девет је дефинисан план експерименталних истраживања, која су ради систематизације подељена у четири дела: (i) групу припремних експерименталних истраживања, која су за циљ имала утврђивање граничних вредности параметара процеса инфилтрације (вредности њихових горњих и доњих нивоа), а дефинисани су и параметри процеса који су у експерименту били одржавани на константном нивоу; (ii) експеримент за одређивање затезне

чврстоће епрувета инфилтрираних на конвенционалан начин; *(iii)* експеримент базиран на DSD факторном плану експеримента који је омогућио формирање модела вакуумске инфилтрације, дефинисање оптималних параметара инфилтрације, као и оптимизоване вредности затезне чврстоће; *(iv)* експерименталну верификацију оптимизованог модела вакуумске инфилтрације.

Поглавље 10 Експериментална истраживања

У десетом поглављу детаљно су описани методологија, вредности параметара и начин извођења експерименталних испитивања. Резултати експерименталних испитивања приказани су табеларно и дијаграмски, у зависности од врсте резултата. Кроз опис експерименталних истраживања приказана је и описана опрема коришћена у експериментима. Сви експерименти су реализовани на основу планова експерименталних који су дефинисани у поглављу 9.

Поглавље 11 Дискусија резултата

У једанаестом поглављу приказана је анализа експерименталних резултата. Регресиони модел је усвојен на основу критеријума који су детаљно дискутовани. Извршена је статистичка анализа резултата и анализа утицајности параметара као и њихових међусобних интеракција. Дискутовани су услови под којима се процес одвија најстабилније, тј. уз најмању дисперзију зависне променљиве. Применом анализе одзивне површи (Surface Response Analysis) оптимизован је модел вакуумске инфилтрације и добијени оптимум је експериментално верификован. Утицај оптимизованог модела вакуумске инфилтрације на микроструктурне карактеристике узорака испитан је применом SEM микроскопије. Такође је, методом живине порозиметрије, анализиран утицај оптимизоване вакуумске инфилтрације на структуру и расподелу порозности у узорцима.

Поглавље 12 Закључци

У дванаестом поглављу су дата закључна разматрања и сумирани су резултати добијени у оквиру докторске дисертације. Такође су предложени правци будућих истраживања, као и могућности даљег унапређења развијеног решења.

Поглавље 13 Научни допринос истраживања и могућност примене у пракси

Кроз поглавље тринаест приказани су научни доприноси кроз два сегмента: *(i)* креирање регресионог модела процеса инфилтрације у везивној 3Д штампи који је омогућио успостављање зависности између кључних параметара и *(ii)* увид у најважније аспекте стабилности процеса инфилтрације. Поступак повећања механичких карактеристика развијен кроз истраживања у дисертацији могуће је применити у инжењерској пракси применом једноставне и релативно јефтине опреме.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01.јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Рад у међународном часопису (M23)

1. Tabaković S, Konstantinović V, Radosavljević R, Movrin D, Hadžistević M, Hatab N (2015) Application of Computer-Aided Designing and Rapid Prototyping Technologies in Reconstruction of Blowout Fractures of the Orbital Floor. Journal of Craniofacial Surgery 26(5):1558-1563

Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja (M51)

1. Movrin D, Ivanišević A, Kačmarčik I, Lainović T, Spasić A, Blažić L (2014) Influence of secondary reconstruction on rapid prototyping tooth model accuracy. Journal for Technology of Plasticity 39(2):15-25.
2. Lužanin O, Movrin D, Plančak M (2014) Effect of layer thickness, deposition angle, and infill on maximum flexural force in fdm-built specimens. Journal for Technology of Plasticity 39(1):15-25.
3. Lužanin O, Movrin D, Plančak M(2013) Experimental investigation of extrusion speed and temperature effects on arithmetic mean surface roughness in FDM built specimens, Journal for Technology of Plasticity 38(2):179-190.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. Movrin D, Spasić A, Ivanišević A, Kačmarčik I, Vučaj-Ćirilović V, Skakun P, Milutinović M (2015) Determination of infiltration depth in 3D printing technology by using CT technique. International Scientific Conference "Flexible Technologies" – MMA, Andrevlje, 231-234.
2. Lužanin O, Movrin D, Plančak M, Toth-Tascau M (2012) Using factorial design to assess the influence of epoxy brand and preheating on the tensile strenght of 3D printed specimens. KOD, Balatonfured, Hungary, 431-434.
3. Plančak M, Puškar T, Lužanin O, Marković D, Skakun P, Movrin D (2011) Some aspects of rapid prototyping applications in medicine. International Conference on Production Engineering, Niš, 315-318 .

VII ЗАКЉУЧЦИ, ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживања представљена у дисертацији имала су за циљ формирање регресионог модела процеса вакуумске инфилтрације у поступку везивне 3Д штампе, који је омогућио успостављање аналитичке зависности између кључних технолошких параметара инфилтрације и механичке чврстоће узорака. На основу тога је извршена и оптимизација процеса вакуумске инфилтрације која је имала за циљ добијање максималне затезне чврстоће испитиваних узорака.

У погледу остварења специфичних циљева, у раду је извршена идентификација релевантних технолошких параметара инфилтрације и њихових, технолошки оправданих, граничних вредности, при чему је скуп стандардних параметара инфилтрације проширен температуром и потпритиском, што је омогућило обухватнији технолошки опис процеса инфилтрације.

У циљу дефинисања технолошки оправданих граничних вредности за све одабране параметре који су коришћени у експерименту, као и за факторе који су одржавани на константном нивоу, изведен је скуп припремних експеримената. Припремни експерименти обухватили су утврђивање минималног потребног времена за сушење епрувета, утврђивање максималног времена инфилтрације и максималне температуре предгревања епрувета, као и проверу оптималности процентуалног удела компоненти за припрему епоксидног инфилтранта који је препоручен од стране произвођача.

Централно експериментално истраживање у раду било је засновано на статистичком инжењерском експерименту. С тим у вези, важно је запазити да је коришћен нови поступак, *Definitive Screening Design (DSD)* који је омогућио увид у све главне утицаје, њихове квадратне вредности и двофакторне интеракције, при чему је пресликавање (*aliasing*) потпуно избегнуто или је, у случају двофакторних интеракција, било сведено на минимум. На овај начин је омогућен аналитички увид у процес инфилтрације, као и оптимизација процеса, без потребе за извођењем допунских експеримената.

Експериментална верификација је показала да усвојени регресиони модел добро моделира процес вакуумске инфилтрације са становишта затезне чврстоће и да је теоретски оптимизована вредност затезне чврстоће била у оквиру 95% интервала поверења израчунатог на основу резултата експерименталне верификације.

Важно је истаћи да је оптимизовани модел процеса вакуумске инфилтрације омогућио значајно побољшање затезне чврстоће епрувета. Према резултатима добијеним у матичној лабораторији, просечна вредност затезне чврстоћа која се добија конвенционалном инфилтрирацијом епрувета, износи 20.975 МПа. Применом идентичног основног материјала и епоксидног инфилтранта, оптимизовани модел вакуумске инфилтрације, омогућио је просечну затезну чврстоћу од 30.58 МПа, што чини повећање од приближно 45%. Ако се у обзир узму сумирани резултати мерења затезне чврстоће других аутора, у зависности од типа инфилтранта, распон добијених вредности креће се између 9 и 24 МПа, што значи да је, посматрано у односу на горњу вредност наведеног распона, просечна вредност затезне чврстоће добијена у овом раду већа за 23%.

Са аспекта практичне применљивости, важно је истаћи да оптимизовани модел вакуумске инфилтрације који се базира на развијеном регресионом моделу, користи стандардну опрему која се налази у већини лабораторија и радионица, а основни материјал за израду модела и материјали за инфилтрацију представљају комерцијално доступне, стандардне материјале.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

На основу прегледа и анализе докторске дисертације Комисија сматра да је целокупна дисертација добро и јасно структурирана, прегледна, систематична и у складу с пријављеном темом дисертације. Тумачење резултата је на високом научном нивоу, аргументовано и свеобухватно, а изведени закључци произлазе из остварених резултата.

Комисија ПОЗИТИВНО оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе
Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења тих резултата садржи све битне елементе који се захтевају у радовима овакве врсте.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци
Дефинисани регресиони модел процеса вакуумске инфилтрације у везивној 3Д штампи омогућио је успостављање аналитичке зависности између кључних технолошких параметара инфилтрације и затезне чврстоће радних предмета, као и оптимизацију процеса инфилтрације са становишта постизања максималне затезне чврстоће радних предмета. Поред стандардних технолошких параметара, развијени модел је проширен параметрима који узимају у обзир температуру и потпритисак на којем се обављају припрема инфилтранта и сама инфилтрација, чиме је добијен нови поступак за инфилтрацију који омогућава значајно повишење затезне чврстоће, уз примену стандардних и комерцијално доступних материјала за израду и инфилтрацију радних предмета.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Дисертација нема недостатака који утичу на резултат истраживања.
X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
да се докторска дисертација ”Оптимизација параметара постпроцесирања у технологији везивне 3Д штампе” прихвати, а кандидату мр Дејану Моврину одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. **Др Драгиша Вилотић, редовни професор**
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник

2. **Др Весна Мандић, редовни професор**
Факултет инжењерских наука, Крагујевац, члан

3. **Др Бранко Шкорић, редовни професор,**
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

4. **Др Драган Рајновић, доцент**
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

5. **Др Огњан Лужанин, ванредни професор**
Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.