

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Тодор Тодоров Тодоров

Тема на дисертационния труд:

**МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ ПРОЦЕСА НА ЗАПЪЛВАНЕ НА
ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ ЧРЕЗ ВИРТУАЛЕН ПРОТОТИП**

Рецензент: проф. д-р Нели Косева

Г-н Тодор Тодоров е инженер, придобил образователно-квалификационна степен „магистър“ през 2018 г. в Технически университет – София (ТУ-София) със специалност „Компютърно проектиране и технологии в машиностроенето“. От март 2019 г. той е редовен докторант в катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини” на Машинно-технологичен факултет, ТУ-София. Съгласно изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за неговото прилагане маг. инж. Тодор Тодоров е представил необходимите документи: дисертационен труд, автореферат, автобиография, списък с публикации и цитати, и копие от диплома за висше образование. В допълнение е представен списък на проектите, в които е участвал в периода от ноември 2019 досега.

Представеният за рецензиране дисертационен труд съдържа 5 глави, в които са изложени състоянието на проблема и резултатите от изследванията по 4-те поставени задачи за постигане целта на дисертационното изследване. Трудът съдържа още 3 глави, в които са обобщени изводите и описани приносите от изследванията на докторанта, а в последната глава (Библиография) е представен списък на използваните 93 литературни източници, от които 73 на латиница (вкл. 22 интернет адреси), 20 на кирилица (вкл. 2 интернет адреса). Дисертационният труд е в обем от 189 страници, включва 189 фигури и 36 таблици.

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение.

Пластмасовите изделия са навлезли във всички ниши на пазара – от стоки за бита до конструкционни елементи в строителството и транспорта, от изделия с проста форма до такива със сложна пространствена геометрия, от стоки за еднократна употреба до такива с многократни натоварвания, поради което се поставят високи изисквания към техните експлоатационни качества. За производството на пластмасови изделия съществуват различни технологии, като една от най-масово прилаганата е чрез използване на формообразуващи инструменти. Разрастването на пазара на пластмасовите изделия както по обем, така и по разнообразие на стоките,

поставя въпроса за оптимизиране на технологичните процеси и формообразуващите инструменти за постигане на по-голяма производителност от една страна, както и подобряване на точността и физикомеханичните характеристики на изделията от друга страна.

Нарастването на изискванията към пластмасовите изделия води до разработването на нови материали, в случая на основата на полимери, с твърде разнообразни свойства. Това поставя проблема за унифициране и прототипиране на изделията, като същевременно трябва да се отчитат различните свойства на изходните полимери, с които да се съобразят параметрите на технологичния процес и производственото оборудване. Търсят се подходи, с които да се повиши ефективността на технологичния процес, като се запазят или подобрят качествата на изделията.

Виртуалното инженерство и съвременните компютърни средства като CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) и CAE (Computer Aided Engineering) са мощни инструменти, които спомагат за разработване и оптимизиране на производствени технологии с цел съкращаване на времето от конструирането на детайла до пускането му в производство. Тези нови технологии улесняват и ускоряват цялостния процес на внедряването в производство – от дизайна на изделията до оценка на възможностите за подобряване на техните качества, конструиране на формообразуващите инструменти и оптимизиране на технологичните параметри. Прилагането на виртуалното инженерство и съвременните компютърни технологии имат пряко въздействие върху производителността и качествата на изделията, следователно върху тяхната цена и и пазарна конкурентоспособност.

Поради това разработването на нови подходи чрез използването на виртуалното инженерство и развитието на компютърния инструментариум са обект не само на научноизследователски интерес, но и нарастваща необходимост за производствения сектор. Несъмнено това е бързо развиваща се област с множество нерешени задачи и предизвикателства пред съвременната методология на проектиране и внедряване на изделия с нарастваща функционалност и изисквания към техните експлоатационни характеристики. Трябва да се подчертае, че това има отношение не само към повишаване на ефективността на изследователския и производствен процес, но и към опазване на околната среда и ресурсната ефективност – по-малко производствени отпадъци и удължен експлоатационен живот на изделията.

В контекста на изложеното по-горе актуалността на разработения в дисертационния труд проблем е безспорна както в научно, така и в научноприложно отношение.

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

Моето впечатление е, че докторантът е положил много усилия и познава добре състоянието на проблема. Това следва не само от броя цитирани източници, но и от анализа, който е направен от докторанта на съществуващите подходи и методология при прилагането на съвременните компютърни средства при дизайна на формообразуващите инструменти. Изтъкната е необходимостта от комплексен подход, при който конструирането на шприцформата трябва да е съобразено със свойствата на изходния полимерен материал, оптимизирането на параметрите на формообразуващия инструмент изисква отчитане на съвкупността от технологични параметри и функционални характеристики на изделието.

Това несъмнено поставя пред докторанта необходимостта да се запознае и изучи влиянието на различните технологични параметри като налягане, температура, скорост на шприцване и др. върху дефектите, които могат да бъдат получени при неправилен подбор и съчетание на технологичните параметри. Докторантът познава съществените дефекти (задържане на въздух, линии на засреждане, появата на отливък, всмукнатини, деформации и др.), както и причините, т.е. онези несъвършенства в технологичния процес, които водят до появата на тези дефекти. В обзорната част подробно са описани проблемите, възникващи по време на шприцване като съдържание на влага в полимерните гранули, неправилно оразмерена система за подаване на материала, недостатъчно време на задържане на материала и др. Освен с проблемите, докторантът е запознат с методите и практиката за тяхното идентифициране, както и със съществуващи подходи за преодоляването им. Тук следва да отбележа, че този анализ е направен на основата на добро познаване на свойствата на полимерните материали. Докторантът е представил кратко описание на най-широко използваните полимери и техни основни характеристики като температура на стапяне, степен на кристалност, вид на полимерната верига, която има отношение към стойностите на вискозитета и течливостта на полимерната стопилка, термична устойчивост на полимерния материал, т.е. свойства, които са пряко свързани с технологичните параметри на преработване на материала и които трябва да се отчитат при конструиране на формообразуващите инструменти. Докторантът е избрал логично построена структура на излагането на проблема – представяне на проблема, начините за неговото идентифициране и причините за появяването му, както и описаните в литературните източници препоръки и решения за преодоляването на конкретен проблем или дефект.

В обзорната глава са представени основни програмни софтуери за симулация на шприцване, като са изброени основните фази при провеждането на симулациите. Посочени са ключови решения, които могат да се вземат въз основа на резултатите

от симулациите. Тяхното прилагане корелира пряко с качеството на крайното изделие и спомага за намаляване на производствените разходи.

Обзорната част завършва с изводи от литературното проучване по проблема на дисертационното изследване, които обобщават предимствата от прилагането на модерни програмни софтуери за симулация на процесите на шприцване, особено на сложни геометрични форми, като е изтъкната необходимостта от разработване на методология за оптимизиране на различни параметри на процеса във виртуална среда, но и да включва валидиране на виртуалния с физически прототип. Изводите акцентират също и върху липсата на подходи за оптимизиране на процеса на запълване при шприцване чрез дефиниране на оптимални параметри, както и на необходимостта от обстойно изследване на влиянието на охлаждането на формообразуващите елементи, което е от ключово значение за качеството на крайното изделие. Въз основа на анализа на състоянието на разглеждания проблем и направените изводи, докторантът е формулирал целта на дисертационното изследване: *Моделиране и изследване процеса на запълване на формообразуващи инструменти чрез виртуален прототип за процесна и точностна оптимизация, и са дефинирани четири задачи за нейното постигане.*

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

Точното формулиране на целта на дисертационния труд и ясното дефиниране на конкретните задачи за нейното постигане е от ключово значение за правилното структуриране на изследванията и избора на методика за тяхното провеждане. Построяването на адекватен експериментален дизайн, който да включва всички необходими елементи на изследователския процес е важно условие за получаване на релевантни и надеждни резултати. Тяхното правилно интерпретиране зависи освен от теоретичната подготовка и придобити умения от страна на докторанта, но и от съответствието на избраната методика на изследване, която да гарантира в конкретния случай изясняването на връзката между свойства на материала – технологични параметри – дизайн на формообразуващия инструмент – функционалност и качество на изделието. Тази сложна комбинация от взаимосвързани параметри поставя необходимостта от методика, която да съответства на комплексността на поставените задачи. Във втора глава на дисертационния труд, която е посветена на разработване на методология за предвиждане и оптимизация на процесните параметри и точностни показатели на сложни пластмасови изделия чрез виртуални прототипи, е представено разбирането на докторанта, че методологията трябва да се основава на фундаментални изисквания и правила за шприцване и симулиране в CAE среда за намирането на оптимизирана комбинация между работните параметри, формата и функционалността на изделието, и конструкцията на шприц-инструмента. Във тази

връзка е разработена методологична последователност за предвиждане и оптимизация на процесните параметри и точностни показатели на сложни пластмасови изделия чрез виртуални прототипи, като иновативните елементи включват демонстрираните съществени възможности за контрол на деформациите чрез правилен подбор на параметрите на процеса, както и интегрирането на допълнителна стъпка на валидиране на виртуалния с физически прототип чрез изработване на предварителен формообразуващ инструмент, който има за цел да потвърди желаните резултати преди пристъпване към окончателно изграждане на инструменталната екипировка. Запознавайки се с дисертационния труд, оценявам избраната методика и разработената методологична последователност за правилни и съответстващи на поставената цел и задачи на изследването, като се подчертаят иновативните елементи в нея.

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

Дисертационният труд представя в детайли приложението на разработената методологична последователност за оптимизиране процеса на запълване при шприцване с цел подобряване качеството на изделието чрез дефиниране на оптимални параметри (скорост на шприцване, налягане, температура на стопилката и инструмента и др.) и изследване влиянието на охлаждането върху качествата на изделието. Това е направено в глави три и четири на дисертацията, като резултатите от анализа и симулациите са богато илюстрирани с фигури, а данните са представени в табличен вид. Детайлното описание на параметрите, тяхното контролиране и правилното интерпретиране на влиянието им върху свойствата и качеството на изделието отново потвърждават добрите познания и аналитични умения на докторанта. Оценката на качеството на изделието е направена въз основа на комбинация от базисни критерии и технологични показатели като налягане на запълване и задържане, температура на стопилката и инструмента и време на задържане и охлаждане. Прилагането на избраната стъпкова методология за оптимизиране на процеса на шприцване е демонстрирана върху тестов пример (предна рамка с леща, изградена от два компонента от различни полимерни материали), за да се проследи влиянието върху конкретни параметри на процеса. Подробното представяне на данните от симулационните анализи (входящи данни и получени резултати), прилагането на базисните критерии при интерпретацията на резултатите, както и обобщаващите изводи от оптимизационната задача на параметрите на тестовия пример, убеждават читателя в съответствието и практическата приложимост на разработената методологична последователност на изследването.

Подобен систематичен подход е приложен при изследване влиянието на охлаждане върху качествата на изделието. Представени са възможни решения на охлаждащи системи, размер и разположение на охлаждащите канали и необходимостта от тяхното оптимизиране. Последната е демонстрирана върху тестов пример - част от високоговорител, чиято форма влияе силно на качеството на произвеждания звук. Направен е сравнителен анализ на ефективността на охладителните канали на две охлаждащи системи - конвенционална и конформна система. Въз основа на този анализ и показване на предимствата на конформната охлаждаща система е направена допълнителна симулация за оптимизиране на охлаждащите канали. Предложен е подход за намиране на бързо решение за установяване на най-добра форма и размери на охлаждаща система, което води до минимален брой итерационни симулации. Показано е огромното значение, което има добре оразмерената охлаждаща система за намаляване на дефектността на крайните изделия.

Петата глава на дисертационния труд е посветена на апробиране на разработените подходи и методология чрез физическо прототипиране и тестове. Предложената методология за провеждане на симулационни анализи и оптимизация на процеса на шприцване с цел избягване дефектите на изделието е валидирана чрез физически прототип и извършен сравнителен анализ на точността между виртуалните и действителни резултати на изделие със сложна 3D геометрия. За създаване на физическия прототип е използвана технологията за репликация в силиконова матрица. Използван е триизмерен скенер за анализ на реалния обект и създаване на негов виртуален 3D модел, който е сравнен с виртуалния прототип. Сравнителният анализ е показал високо съответствие между виртуалния прототип и физическия модел, което от своя страна е убедително доказателство за съответствието на приложената методика и за полезността на виртуалните прототипи за предсказване на проблеми при процеса на проектиране на нови пластмасови изделия. Прилагането на такъв сравнителен анализ има за цел да повиши производителността на процеса, както и да намали риска и разходите при евентуална корекция след производство на окончателния формообразуващ инструмент. Показано е също огромното значение на физическото прототипиране и валидиране чрез мек инструмент, когато се проектират изделия със специфична геометрия, на основата на пример на проектно решение за екстремна концепция на рамка за очила с еластична панта, както и на защитни очила, за които се изисква 100%-тна прозрачност на изделието.

Горе-казаното ми дава основание за положителна оценка на достоверността на получените резултати и тяхната интерпретация, въз основа на които са направени съответните изводи и заключения по поставените задачи, както и общите изводи, представени в шеста глава на дисертационния труд.

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

Докторантът е представил справка с приноси, които са групирани в две категории - научно-приложни и приложни приноси. Съгласна съм с начина на формулиране на приносите и смятам, че отразяват иновативните елементи на дисертационното изследване. Разграничаването на научно-приложния от чисто приложния характер на приносите е трудна задача и приемам начина на групирането им, с изключение на номер 5 от приложните приноси, който има съществен научноизследователски елемент. Моята оценка е, че приносите на дисертационния труд са значими и достатъчни за придобиване на образователната и научна степен „доктор“. Те са безспорно доказателство за добрата теоретична подготовка и умения на г-н Тодор Тодоров да анализира и интерпретира данните от проведените изследвания.

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

Безспорно всяко дисертационно изследване и приносите от него са резултат от работата и вложените усилия на докторанта, следвайки насоките на своите научни ръководители. Това е съвместен труд, който има за цел освен провеждане на качествени изследвания и постигане на значими резултати, но и изграждането на изследовател с умения за самостоятелно и критично анализиране на данни и интерпретиране на резултати, с иновативно и творческо мислене. Считам, че това е постигнато в значителна степен. В две от представените публикации по дисертационния труд г-н Тодор Тодоров е първи автор, а четвъртата е самостоятелна публикация. Тези факти ми дават основание да оценя степента на личното участие на докторанта в приносите като висока.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани.

Докторантът е представил 4 публикации, две от които са на английски език и са включени в материали от международни конференции, като публикацията в пълен текст „Design and simulation of mould tools with multi-material structure for plastic injection moulding based on Additive Technology“ от 2019 г. е в издание, което се реферира в база-данни SCOPUS. Публикациите на български език са в списание „Машиностроене и Електротехника“, което се издава със съдействието на Българската асоциация по електротехника и електроника. Три от публикациите са в съавторство и една е самостоятелна. Забелязан е един цитат на публикация №1 от представения списък

Представените публикации включват съществени резултати от дисертационния труд, с което разпространяват сред широката научна и експертна общност приносите на дисертационното изследване.

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

Приносите и резултатите от дисертационния труд имат силна приложна насоченост и могат лесно да бъдат използвани в дейността на фирми и организации, занимаващи се с проектиране и производство чрез формообразуващи инструменти на пластмасови изделия със сложна пространствена геометрия. Разработената методологична последователност може да бъде адаптирана и към вече съществуващи производства за оптимизиране на технологичния процес и понижаване на дефектите на произвежданите изделия.

Със сигурност резултатите и използвания подход при разработването на дисертационния труд могат да бъдат използвани в учебния процес на студенти и докторанти от машиностроителните специалности на ТУ-София и други технически висши училища. Увереност за това ми дават резултатите, получени за конкретните тестови примери, които се различават по сложност, изходен полимерен материал, дизайн на формообразуващите инструменти и технологични параметри, функционалност и приложение на пластмасовите изделия.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му.

Авторефератът е изготвен съгласно изискванията и отразява в пълнота същността на дисертационното изследване и основните приноси от него.

10. Мнения, препоръки и бележки.

Основните бележки, които искам да отправя се отнасят до забелязаните терминологични, стилови и технически неточности в дисертационния труд. Те нямат характер, който би могъл да внесе неяснота в описанието и интерпретацията на резултатите, но правят лошо впечатление и би следвало да не се допускат в сериозни трудове, какъвто е дисертационния. Моята препоръка към докторанта е да бъде повзискателен към себе си при подготовката на текстовото съдържание и форматирането и представянето на резултатите. В началото на рецензията отбелязах като положителна оценка запознаването на докторанта с основните видове и класове полимери, които се използват за производство на пластмасови изделия. Но не мога да не отправя критични бележки във връзка с множеството терминологични неточности. Ще дам само няколко примера. Общоприетият термин е природни полимери, а не натурални, или поли(млечна киселина), а не полилактична киселина, а кръстосаното свързване е прието да се нарича омрежване. Не са прецизирани твърдения, като това, че синтетичните полимери се получават като вторични продукти от процеса на добиване на нефт, или сложните полимери се състоят от два или повече продукта, и др. подобни. Затова моята препоръка към бъдещата работа на докторанта е, когато изследването има интердисциплинарен

характер или е необходима консултация от специалисти от друга научна област, да се потърси съдействие от съответни колеги.

Освен тази препоръка бих добавила да се избягват повторенията, включително и на фигури, независимо че подкрепят различни части от дисертационния труд, да се проверява за несъответствия между подфигурния текст и представената зависимост на самата фигура (например Фигура 2.8 на стр. 56). Бих искала да обърна сериозно внимание на описанието на литературните източници. Докторантът би могъл да използва уеднаквен начин на представяне и пълнота на описанието, за да може читателят лесно да достигне и се запознае с източника при желание.

Основната ми препоръка, обаче, се отнася до по-амбициозно публикуване в международни издания, които са реферирани и индексирани в международни бази данни.

11. Заключение

Представеният дисертационен труд и материалите по него съответстват на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България, Правилника за прилагането му и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ–София. Дисертационният труд представлява актуално, добре планирано изследване със значими приноси, които имат научно-приложен и приложен характер. Поставената цел и специфични задачи на дисертационното изследване са изпълнени, тълкуването и обобщаването на резултатите са убедителни, което ми дава основание да оценя представения труд като дисертабилен и да дам своята положителна оценка за него, както и да предложа на маг. инж. Тодор Тодоров Тодоров да бъде присъдена образователната и научна степен „доктор” по професионално направление 5.1 Машинно инженерство, научна специалност „Технология на машиностроенето”.

09.05.2022
София

Рецензент:
(проф. д-р Нели Косева)

R E V I E W

on a dissertation for acquiring the educational and scientific degree "PhD"

Author of the dissertation: M.S. Eng. Todor Todorov Todorov

Topic of the dissertation: Design and Simulation of Mould Tools with a Virtual Prototype

Reviewer: Prof. Dr. Neli Koseva

Mr. Todor Todorov is an engineer who acquired in 2018 a master's degree in Computer Design and Technology in Mechanical Engineering at the Technical University - Sofia (TU-Sofia). Since March 2019, he is a PhD student at the Department of Technology of Mechanical Engineering and Metal-Cutting Machines, Faculty of Mechanical Engineering, TU-Sofia. According to the requirements of Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria Act (DASRB) and the Rules for the Application of DASRB, M.S. Eng. Todor Todorov has presented the required documents: dissertation, abstract, CV, list of publications and citations, and a copy of the diploma of higher education. In addition, a list of projects in which he has participated since November 2019 has been also presented.

The dissertation contains 5 chapters, in which the state of the art and the results of the investigations on the 4 set tasks for achieving the goal of the dissertation are presented. The paper contains 3 more chapters, which summarize the conclusions and describe the contributions of the doctoral research. The last chapter (Bibliography) presents a list of 93 cited literature sources, of which 73 in Latin (including 22 Internet links), 20 in Cyrillic (incl. 2 internet links). The dissertation has a volume of 189 pages, it includes 189 figures and 36 tables.

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and scientific-applied terms.

Plastic products have entered all market niches - from household goods to structural elements in construction and transport, from products with a simple shape to such with a complex spatial geometry, from disposable goods to durable ones with multiple loads and high requirements for their performance. There are various technologies for the production of plastic products among which the use of mould tools is one of the most widely used. The growth of the market for plastic products in both volume and variety of goods raises the question of optimizing technological processes and mould tools to achieve greater productivity on the one hand, as well as improving the accuracy and physico-mechanical characteristics of products on the other hand.

The increased requirements for plastic products lead to the development of new materials, in the case of polymer-based, with very diverse properties. This raises the

problem of unification and prototyping of products, while taking into account the different properties of the starting polymers, which take into account the parameters of the technological process and production equipment. Approaches are being sought to increase the efficiency of the technological process by preserving or improving the quality of the products.

Virtual engineering and modern computing tools such as CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) and CAE (Computer Aided Engineering) are powerful tools that mediate development and optimization of manufacturing technologies to reduce the time from the product design to setting it into production. These new technologies facilitate and accelerate the overall process of implementation in production - from product design to assessment of opportunities to improve their quality, design of moulding tools and optimization of technological parameters. The application of virtual engineering and modern computer technologies directly impacts the productivity and quality of products, and therefore, their price and market competitiveness.

Therefore, the development of new approaches through the use of virtual engineering and the development of computer tools are not only a subject of research interest, but also a growing need for the manufacturing sector. Undoubtedly, this is a rapidly developing field with many unsolved problems and challenges to the modern methodology of design and implementation of products with increasing functionality and requirements for their performance. It should be emphasized that this concerns not only the efficiency increase of the research and production processes, but also environmental protection and resource efficiency - less production waste and extended service life of products.

In the context of the above, the relevance of the problem developed in the dissertation is indisputable both from scientific and application oriented point of view.

2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the scientific literature

My impression is that the PhD student has put a lot of effort and knows well the state of the problem. This follows not only from the number of cited sources, but also from the analysis of the existing approaches and methodologies in the application of modern computer software in the design of mould tools. The need for a complex approach, in which the design of the injection mould must comply with the properties of the source polymer material, the optimization of the parameters of the forming tool requires taking into account the set of technological parameters and functional characteristics of the product.

This undoubtedly motivates the PhD student to get acquainted with and study the influence of various technological parameters such as pressure, temperature, injection rate and others on the defects that can be obtained by incorrect selection and combination of technological parameters. The PhD student has knowledge about the significant defects (air retention, lines of contact, the appearance of castings, suction, deformations, etc.), as

well as the causes, i.e. those deviations in the technological process that lead to the appearance of defects. The overview describes in detail the problems that arise during injection moulding such as moisture content in the polymer granules, improperly sized material feed system, insufficient retention time of the material and more. Besides with the problems, the PhD student is acquainted with the methods and practice for their identification, as well as with the existing approaches for overcoming them. It should be noted that this analysis is based on a good knowledge of the properties of polymeric materials. The PhD student presented a brief description of the most widely used polymers and their main characteristics such as melting temperature, degree of crystallinity, type of polymer chain which is related to the values of viscosity and flowability of the polymer melt, thermal stability of the polymer material, i.e. properties that are directly related to the technological parameters of material processing and which must be taken into account when designing the moulding tools. The doctoral student has chosen a logically structured problem presentation - description of the problem, ways to its identification and the reasons for its occurrence, as well as recommendations and solutions for overcoming a specific problem or defect as described in the literature.

The overview chapter presents the main software for injection molding simulations, listing the main phases of the simulations. Key decisions that can be made based on the results of the simulations have been also identified. Their application correlates directly with the quality of the final product and contributes to reduction of the production costs.

Conclusions from the literature overview on the dissertation subject have been drawn. They summarize the advantages of applying modern software for simulation of injection molding processes, especially for complex geometric objects, emphasizing the need to develop a methodology for optimizing various parameters of process in a virtual environment, but also to include validation of the virtual with a physical prototype. The conclusions also emphasize the lack of approaches to optimize the filling process by injection molding by defining optimal parameters, as well as the need for thorough study of the cooling effect of molding elements, which is crucial for the quality of the final product. Based on the analysis of the state of the problem and the conclusions made, the doctoral student formulated the aim of the dissertation research: Modeling and investigating of the process of filling mould tools through a virtual prototype for process and accuracy optimization, and four tasks have been defined.

3. Compliance of the chosen research methodology with the formulated goal and tasks of the dissertation work.

The precise formulation of the aim of the dissertation and the exact definition of the specific tasks for its achievement is crucial for the proper structuring of the investigations and the choice of methodology for their implementation. Building an adequate experimental design that includes all the necessary elements of the research process is an important condition for obtaining relevant and reliable results. Their correct interpretation depends not

only on the theoretical training and acquired skills of the PhD student, but also on the compliance of the chosen research methodology to ensure in this case the elucidation of the relationship between material properties - technological parameters - design of the mould tool - functionality and quality of the product. This complex combination of interrelated parameters raises the need for a methodology that corresponds to the complexity of the tasks. The second chapter of the dissertation, which is devoted to developing a methodology for predicting and optimizing process parameters and accuracy of complex 3D plastic products via use of virtual prototypes, presents the doctoral student's understanding that the methodology should be based on fundamental requirements and rules for injection moulding and simulation in CAE environment to find an optimized combination of the operating parameters, the shape and functionality of the product, and the design of the injection moulding tool. In this regard, a methodological sequence has been developed for predicting and optimizing process parameters and accuracy of complex plastic products through virtual prototypes, as the innovative elements include demonstrated significant capabilities for deformation control through proper selection of process parameters and the integration of additional steps of validation of the virtual with a physical prototype by making a preliminary moulding tool, which aims to confirm the desired results before proceeding to the final construction of the tool. Getting acquainted with the dissertation, I can conclude that the chosen methodology and the developed methodological sequence are correct and relevant to the set goal and objectives of the research, emphasizing on the innovative elements in it.

4. Brief analytical characteristics of the content and assessment of the reliability of the results on which the contributions of the dissertation are derived.

The dissertation presents in detail the application of the developed methodological sequence for optimizing the filling process during injection moulding in order to improve the quality of the product by defining optimal parameters (injection speed, pressure, melt and tool temperature, etc.) and study the effect of cooling on the product quality. This is done in chapters three and four of the dissertation, as the results of the analysis and simulations are richly illustrated with figures, and the data are presented in tables. The detailed description of the parameters, their appropriate input values and the correct interpretation of their influence on the properties and quality of the product confirm the good knowledge and analytical skills of the doctoral student. The quality assessment of the product is made on the basis of a combination of basic criteria and technological indicators such as filling and holding pressure, melt and tool temperature and holding and cooling time. The application of the developed step methodology to optimize the injection moulding process has been demonstrated on a test case (front frame with a lens made of two components of different polymeric materials) to track the impact on specific process parameters. The detailed presentation of the data from the simulation analyzes (input data and obtained results), the application of the basic criteria in the interpretation of the results, as well as

the generalizing conclusions from the optimization task of the test example parameters convince the reader of the conformity and practical applicability of the methodology.

A similar systematic approach has been applied in the study of the influence of cooling on the properties of the product. Possible solutions of cooling systems, size and location of the cooling channels and the need for their optimization are presented. The latter have been demonstrated on a test example - component of a speaker tool which shape strongly affects the quality of the sound produced. A comparative analysis of the efficiency of the cooling performance of two cooling systems - conventional and conformal system. Based on this analysis and showing the advantages of the conformal cooling system, an additional simulation has been made to optimize the cooling channels. An approach has been proposed to find a quick solution to determine the best shape and dimensions of the cooling system, which leads to a minimum number of iterative simulations. The great importance of a well-sized cooling system for reducing the defect of the end products is shown.

The fifth chapter of the dissertation is devoted to approbation of the developed approaches and methodology through physical prototyping and tests. The proposed methodology for conducting simulation analyses and optimization of the injection moulding process in order to avoid product defects has been validated by means of a physical prototype and performed a comparative analysis of the accuracy between virtual and actual results of a product with complex 3D geometry. Silicon matrix replication technology was used to create the physical prototype. A three-dimensional scanner was used to analyze the physical object and create its virtual 3D model, which was compared with the virtual prototype. The comparative analysis has shown a high correspondence between the virtual prototype and the physical model, which in turn is convincing evidence of the compliance of the applied methodology and the usefulness of virtual prototypes for predicting problems in the design of new plastic products. The application of such a comparative analysis aims to increase the productivity of the process, as well as to reduce the risk and costs of possible adjustment after the production of the end moulding tool. The great importance of physical prototyping and soft tool validation has also been shown when designing products with specific geometry, based on an example of a design solution for an extreme concept of a frame for goggles with elastic hinge, as well as goggles for which product transparency of 100% is required

The above said gives me grounds for a positive assessment of the reliability of the results and their interpretation, on which bases the relevant conclusions on the tasks, as well as the general conclusions have been drawn and presented in the sixth chapter of the dissertation.

5. Scientific and/or application oriented contributions of the dissertation work

The PhD student has presented a report on the contributions, which are grouped into two categories - scientific-applied and applied contributions. I agree with the way the

contributions are formulated and believe that they reflect the innovative elements of the dissertation research. Distinguishing the scientific-applied from the purely applied nature of the contributions is a difficult task and I accept the way they have been grouped, with the exception of conclusion number 5 from the list of the contributions, which has an essential research element. My assessment is that the contributions of the dissertation are significant and sufficient for acquiring the educational and scientific degree "Doctor". They are indisputable proof of Mr Todorov's good theoretical training and skills to analyze and interpret the data from the research performed.

6. Assessment of the degree of the PhD student's participation in the contributions of the dissertation

Undoubtedly, each dissertation research and its contributions to the development of the specific field are the result of the activity and efforts made by the doctoral student, following the guidelines of the supervisors. The dissertation work is a joint activity, which aims not only to conduct high quality research and achieve significant results, but also to train a researcher with skills for independent and critical analysis of data and interpretation of results, with innovative and creative thinking. I believe that this has been achieved to a significant extent. In two of the presented publications on the dissertation, Mr. Todor Todorov is the first author, and the fourth is authored by him. These facts give me grounds to assess the degree of personal participation of the doctoral student in the contributions as high.

7. Evaluation of the publications on the dissertation: number, nature of the sources in which they have been published

The doctoral student has presented 4 publications, two of which are in English and are included in materials from international conferences, as the publication in full text "Design and simulation of mold tools with multi-material structure for plastic injection molding based on Additive Technology" from 2019 is in an edition that is referenced in the SCOPUS database. The publications in Bulgarian are in the "Mechanical Engineering and Electrical Engineering" journal, which is published with the support of the Bulgarian Association of Electrical Engineering and Electronics. Three of the publications are co-authored and one is stand-alone. One citation of publication №1 from the presented list was observed.

The presented publications include significant outcomes from the dissertation work and disseminate the contributions of the dissertation research among the scientific and expert community.

8. Using the results of the dissertation work in scientific and social practice

The contributions and results of the dissertation are strongly application-oriented and can be easily used in the activities of companies and organizations engaged in design and production via mould tools of plastic products with complex spatial geometry. The developed methodological sequence can be adapted to already existing productions to optimize the technological process and reduce the defects of the manufactured products.

Certainly the results and the approach used in the development of the dissertation can be used in the educational process of students and PhD students in mechanical engineering at TU-Sofia and other technical universities. My confidence in this is due to the results obtained for the specific test examples, which differ in complexity, starting polymer materials, design of mould tools and technological parameters, functionality and application of the plastic products.

9. Assessment of the compliance of the author's abstract with the requirements for its preparation.

The abstract is prepared according to the requirements and fully reflects the essence of the dissertation research and its main contributions.

10. Opinions, recommendations and remarks

The main remarks I would like to make relate to the noticed terminological, stylistic and technical inaccuracies in the dissertation. They do not have a character that could create ambiguity in the interpretation of the results, but they make a bad impression and should not be allowed in serious works such as the dissertation. My recommendation to the PhD student is to be more self-demanding in preparing the textual content and formatting, as well presenting the results. At the beginning of the review, I have outlined as a positive assessment the doctoral student's acquaintance with the main types and classes of polymers used in the plastic products manufacturing. But I have to make critical remarks concerning the many terminological inaccuracies. In addition, statements such as the fact that *synthetic polymers are obtained as by-products of the oil production process*, or *complex polymers consist of two or more products*, etc. are not precisely articulated. Therefore, my recommendation for the future work of the doctoral student is, when the research is interdisciplinary or requires consultation from specialists from a specific scientific field, to seek assistance from colleagues possessing the relevant expertise.

In addition to the above recommendation, I would add to avoid repetitions, including figures, although supporting different chapters of the dissertation, to check for inconsistencies between the figure title and the presented dependence in the figure itself (e.g. Figure 2.8 on page 56). I would like to recommend also a serious attention to be paid to the description of the literature sources. The doctoral student could use a uniform way of presentation and provide complete description of the references, so that the reader can easily reach and get acquainted with the source.

My main recommendation, however, is to target publishing in international journals that are referenced and indexed in the international databases.

11. Conclusion

The presented dissertation and the materials on it correspond to the requirements of the Development of Academic Staff in the Republic of Bulgaria Act (DASRB) and the Rules for the Application of DASRB, as well the Rules of the Procedure for Obtaining Scientific Degrees at Technical University of Sofia. The dissertation is a topical, well-planned study with significant contributions that have a scientific-applied and application-oriented nature. The set goal and specific tasks of the dissertation research have been fulfilled, the interpretation of the results is convincing, which is a strong ground to evaluate the presented work as dissertable and give my positive assessment of it, as well as to suggest M.S. Eng. Todor Todorov Todorov to be awarded the educational and scientific degree "Doctor" in the professional field 5.1 Mechanical Engineering, scientific specialty "Technology of Mechanical Engineering".

09.05.2022
Sofia

Reviewer:
(Prof. Dr. Neli Koseva)