



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
МАШИННО – ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ
Катедра “Технология на машиностроенето
и металоурежещи машини”

Маг. инж. Тодор Тодоров Тодоров

Моделиране и изследване процеса на запълване на
формообразуващи инструменти чрез виртуален прототип

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1 „Машинно инженерство“

Научна специалност: „Технология на машиностроенето“

Научни ръководители:

проф. дн инж. Георги Димитров Тодоров
доц. д-р инж. Константин Христов Камберов

СОФИЯ, 2022г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Технология на машиностроенето и металоурежещи машини“ към „Машинно – технологичен факултет“ на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 28.02.2022 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 31.05.2022 г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ 5.1-16/15.03.2022 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

доц. д-р инж. Григор Стефанов Стамболов – председател;

проф. дн инж. Иво Кръстев Малаков – член;

проф. д-р инж. Димитър Неделчев Карастоянов – член;

проф. д-р Нели Стоянова Косева – член;

доц. д-р инж. Георги Евгениев Чернев – член.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Машинно – технологичен факултет на ТУ-София, блок №3, кабинет № 3230.

Дисертантът е редовен докторант към катедра “Технология на машиностроенето и металоурежещи машини” на „Машинно – технологичен факултет“. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Тодор Тодоров Тодоров

Заглавие: Моделиране и изследване процеса на запълване на формообразуващи инструменти чрез виртуален прототип

Тираж: 30 броя

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Дисертационният труд е насочен в областта на приложение на съвременните технологии за производство на пластмаси, като фокус на работата е моделиране и изследване процеса на запълване на формообразуващи инструменти във виртуална среда за процесна и точностна оптимизация.

Предложени са методики и подходи за решаване на проблеми в разглежданата област, които целят увеличаване на качеството на пластмасовите изделия при шприцване, оптимизация на процесите и разширяване на областите им на приложение. Всичко това определя актуалността и значимостта на изследването в научно и приложно отношение.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Въз основа на направеният анализ на състоянието на разглеждания проблем е формулирана следната цел на дисертационната работа:

Моделиране и изследване процеса на запълване на формообразуващи инструменти чрез виртуален прототип за процесна и точностна оптимизация.

От така определената цел произтичат следните основни задачи:

Задача № 1: Да се разработи методология за предвиждане и оптимизация на процесните параметри и точностни показатели на сложни пластмасови изделия чрез виртуални прототипи.

Задача № 2: Да се изследва и оптимизира процеса на запълване при шприцване чрез дефиниране на оптимални параметри (скорост на шприцване, налягане, температура на стопилка и инструмент и др.).

Задача № 3 Детайлно изследване на влиянието на охлаждане на формообразуващите елементи върху качествата на изделието.

Задача № 4: Апробиране на разработените подходи и методология чрез физическо прототипиране и тестове.

Научна новост

Разработена е методологична последователност за предвиждане и оптимизация на процесните параметри и точностни показатели при формоване (шприцване) на сложни пластмасови изделия чрез виртуални прототипи.

Предложен е подход за бързо определяне на работните параметри при шприцване, който дава голяма степен на точност на виртуалният прототип, чрез директно отчитане на основните фактори на влияние в процеса на запълване при шприцване.

Предложен е подход за намиране на адекватно решение за дефиниране на оптимална форма и размери на охлаждаща система, което води до минимален брой итерационни симулации.

Практическа приложимост

Установено е, че определянето на броя на точките на пълнене (входове) на стопилката и тяхното позициониране в геометрията на формообразуващите вложки е съществено за намаляване процента дефектност и е много важно да се осъществи максимално рано в процеса на развитие на инструмента.

Доказано е количествено чрез виртуален експеримент, че при зададени еднакви процесни параметри, конформните охладителни системи показват по-добри резултати от конвенционалните по отношение на ефективност на охладителната система, температури след процес на пълнене и охлаждане, деформации и процент дефектност.

С помощта на реален индустриален тестов пример е представен анализ на възможностите за виртуално прототипиране при изследване процеса на шприцване на инструмент със сложна форма, с цел избягване дефекти в изделието, чрез оптимизиране на геометрията на изделието.

Експериментално е доказано възможно получаване на невярна картина на свиването на примера на монолитна рамка на очила, от предварителен тестов формообразуващ инструмент, при валидация на специфична геометрия „еластична панта“. Еднозначно е показано значително несъответствие между виртуалните симулации и реалните измервания от физически изработената рамка в случаи на нетипично течение през малки сечения.

Обоснована е необходимостта от планиране и осъществяване на предварително прототипиране на формообразуващия инструмент за валидация на процеса и геометрията на изделията чрез изработването на „мек“ инструмент, поради невъзможност за постигане на висока достоверност при предвиждане на поведението на материала в частни случаи на специфична геометрия.

При специфични изисквания, на примера на очила с пълна прозрачност “crystal clear”, е доказана необходимостта от изработването на „мек“ инструмент, поради възможност от получаване на невярна картина за поведението на стопилковият поток във формата.

Апробация

Изследванията по дисертацията са извършени в лабораториите “CAD/CAM/CAE в индустрията” към МТФ на ТУ-София и “3D Креативност и бързо прототипиране” към СНИРД, като част от изследванията са осъществени при работата по съвместни индустриални проекти с “Арексим Инженеринг“ ЕАД. Резултатите от изследванията са внедрени и се ползват при развитието на нови продукти на “Арексим Инженеринг“ ЕАД.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 научно публикации, от които 1 самостоятелна и 1 в научната база данни SCOPUS. Съществените резултати получени при разработване на дисертацията са докладвани на следните конференции и семинари:

Международния научен симпозиум “Metrology and Metrology Assurance, MMA 2019”

Международна конференция “Conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth, CreBUS, Sandanski 2019”

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **189** страници, като включва увод, **4** глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **93** литературни източници, като **41** са на латиница и **18** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **189** фигури и **36** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

С въвеждането на компютърното проектиране се усъвършенстват и методите, за якостно изчисляване на силово натоварените детайли и възли. Използват се нови методи за прецизно оразмеряване на формуващите повърхнини и детайли. Използването на CAD/CAM технологии дава възможност за проектиране на изделия с много сложен дизайн и изисквания за висока точност и качество. В същото време периодът за производство на формообразуващите инструменти се съкращава. Въпреки това, все още има нужда от допълнителна физическа валидация на изделието чрез прототипиране, както и да бъдат извършени различни циклови натоварвания и тестове.

Съвременните компютърни средства повишават ефективността на инженерните и икономическите отдели, рязко съкращават времето за развитие на даден продукт, позволяват извършването на най-различни анализи, които подобряват значително якостните и технологични свойства като същевременно намаляват и себестойността на изделията. Бързото прототипиране (Rapid Prototyping) съкращава многократно цялостния

технологичен процес и позволява въвеждането на корекции още преди получаването на крайния продукт [2, 10].

1.1. Приложение на пластмаси

Пластмасите са твърди еластични полимери с модул на линейна деформация 10^3 МРа. По физико-механичните си свойства се делят на две основни групи: еластични и твърди.

Пластмасите са голяма група материали, чийто основен компонент са синтетични или полусинтетични полимери. Пластмасите се характеризират със смесен аморфно-кристален строеж. Основа на тези материали са полимери, чийто строеж е от макромолекули, образуващи линейни, разклонени и мрежовидни вериги със създадени в процеса на полимеризация устойчиви връзки помежду им [54].

Натуралните (естествени) полимери са широко разпространени в природата и се добиват от растения и животни. Такива например биват протеин, целулоза, нишесте, каучук и др. Голямо предимство на тези полимери е, че лесно се рециклират.

Синтетичните полимери от своя страна се получават като вторични продукти от процеса на добиване на нефт. Пример за този вид полимери са полиетилен, полиестер, тефлон и др. Производството на синтетични полимери е с цел задоволяване на нуждите на потребителите [32].

Полусинтетичните полимери се получават чрез модифициране на натурални (естествени) полимери. Такива биват автомобилните гуми, изкуствена коприна и др. По физико-механичните си свойства се делят на две основни групи – еластични и твърди. Еластичните имат линеен строеж, а твърдите пространствено омержен строеж. Според измененията при нагряване се делят на две основни широко известни групи – термопластични и термореактивни [72].

1.2. Дефекти при шприцване

Дефектите се влияят от параметри като налягане, температура, скорост, вискозитет, вид на материала и други. Един от важните фактори, които могат значително да намалят, дори премахнат образуването на дефекти, са охладителните системи [8]. Единственият начин, чрез който може да се повлияе на охлаждането за намаляване на дефектност и деформации, са конформните охладителни канали. Те следват линията на детайла и при необходимост, каналите се сгъстяват и доближават, образувайки балансирано и равномерно охлаждане [7].



фиг. 1.1 Причина за дефекти при шприцване [16]

1.4. Програмни софтуери за симулация на шприцване

Повечето дефекти при шприцване се появяват още в етапа на запълване на формата. Симулационните анализи на шприцване по същество дават добра обща представа за поведението на материала във формата в процеса на шприцване. Типични нежелание въздействия като линии на заваряване, всмукнатини, въздушни включвания, както и изкривяване на формата извън

размерните допуски, могат да бъдат предвидени и отстранени без това да повлияе негативно върху производството.

При идентифициране на нежелани ефекти, параметрите, както и формата на изделиято/инструмент, могат да бъдат коригирани [30].

От друга страна, симулационните моделиери на шприцване не предоставят пълен набор от възможности за технолога (напр. отчитане на влагата). Друг недостатък на виртуалното прототипиране, е немалкият процент грешка в измерените резултати, което дава поле на инженерите за създаване на методология, включващ изработване на предварителен прототипен инструмент за валидиране резултатите от софтуерният пакет [26].

1.5. Изводи към глава 1

Извършеното литературно проучване на съществуващите възможни проблеми по време на шприцване, както и своевременното им отстраняване чрез помощта на модерни програмни софтуери за симулация на процесите на шприцване на сложни геометрични форми, дава възможност да се формулират следните по-важни изводи:

Към настоящия момент има засилено развитие в областта на пластмасите и тяхното обработване, поради многобройните им предимства и приложения в различни сфери. Високите изисквания на клиента към пластмасовите изделия от страна на здравина, термоиздръжливост, устойчивост при различни екстремни среди, както и естетическата форма, дава поле за мащабно проучване и устрем към отстраняване на множество дефекти, появяващи се в процеса на пълнене.

Забелязва се динамично навлизане на нови технологии, базирани на CAE симулационни анализи на шприцване. Така става възможно да се постига голяма бързина на изпълнение, силна предвидимост на нежелани дефекти и своевременното им отстраняване за постигане на високо качество, което оптимизира всички етапи на шприцване, увеличава производителността и спестява разходи и време.

В рамките на литературното проучване са разгледани предимствата и недостатъците на прототипирането при шприцване във виртуална среда като са маркирани следните изводи:

- Симулационните софтуери за анализ на шприцване имат големи възможности, но и съществени пропуски в методологията за проектиране, предвиждане и оптимизация на процеса, и процесните параметри;

- Различни елементи на процеса не могат да бъдат отразени във виртуална среда, което налага нуждата да се изгради методология, която включва междинен етап за проектиране на физически предварителен инструментален пакет, който да валидира виртуалният с физическият прототип.

В литературното проучване не бяха открити методи и подходи за оптимизация процеса на запълване при шприцване чрез дефиниране на оптимални параметри.

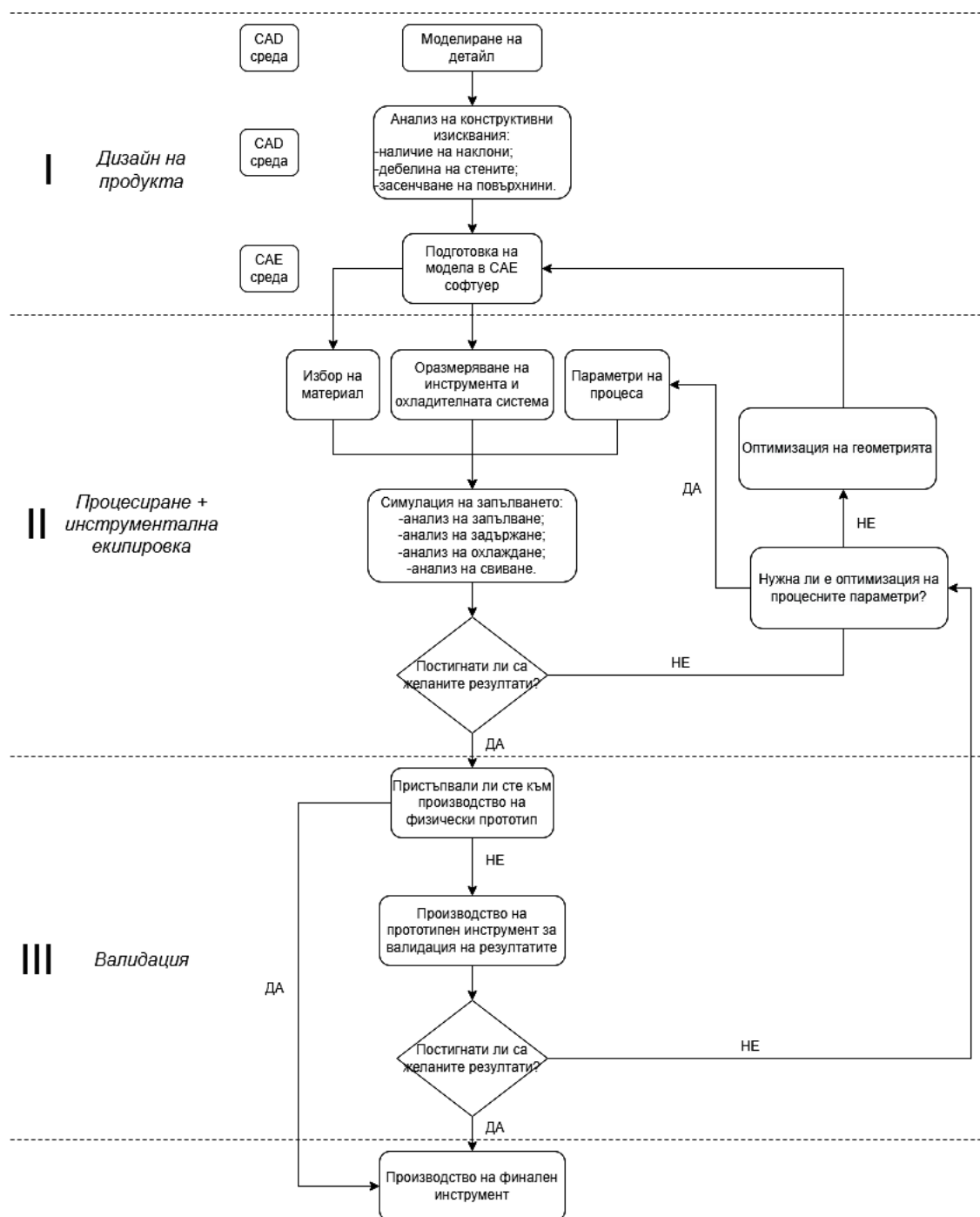
Не е установено влиянието на охлаждане на формообразуващите елементи, което е основополагащо за крайното качество на изделията.

2. РАЗРАБОТВАНЕ МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ПРЕДВИЖДАНЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСНИТЕ ПАРАМЕТРИ И ТОЧНОСТНИ ПОКАЗАТЕЛИ НА СЛОЖНИ ПЛАСТМАСОВИ ИЗДЕЛИЯ ЧРЕЗ ВИРТУАЛНИ ПРОТОТИПИ

Правилното конструктивно оформяне на пластмасовите изделия е важна стъпка към подготовката за конструиране на формообразуващи инструменти за тяхното производство. В етап на изграждането на цялостната форма на изделиято, трябва да се съобразят фундаментални изисквания и правила за шприцване като в противен случай могат да се формират редица дефекти, както повърхнинни, така и структурни.

2.1. Разработване на методологична последователност за предвиждане и оптимизация на сложни пластмасови изделия

На базата на опита при използването на тези системи от автора, е предложена методологична последователност за необходимите стъпки, като по този начин се осигурява максимална точност и корелация между виртуалната и физическа среда (фиг. 2.1).



фиг. 2.1 Общ блок – схема на дейностите при методологична последователност за предвиждане и оптимизация

В практиката най-често работният процес от идеята до прототипа и своевременното производство на дадено изделие, преминава през три основни етапа, които включват етап на дизайн и развитие на продукта, процесиране и изграждане на инструментална екипировка и валидация на виртуалния прототип с физически като акцент на дисертационният труд ще бъде вторият етап от развитие на продукта.

2.2. Дизайн и развитие на продукта

В този етап се изграждат и проверяват задължителните елементи на детайла за шприцване като еднаквост на дебелините на стените, наличие и проверка на наклоните, отразяване на свиването при охлаждане на детайла, определяне на делителни линии и повърхнини, както откриване и корекция при наличие на засенчени участъци (фиг. 2.2).

2.3. Процесиране и анализ на резултатите от виртуален прототип

Вторият етап от развитие на изделието, е вмъкването му в САЕ среда за симулиране на запълване при шприцване (фиг. 2.3). Всички симулиращи програми на процеса на шприцване имат една и съща схема на вътрешна организация.

2.4. Валидация на постигнатите резултати с физически прототипен формообразуващ инструмент

В случаи, когато постигнатите резултати от анализите на шприцване не са удовлетворителни, се правят итеративни стъпки с параметрите на процеса, докато не се получат желаните резултати. Ако това не може да бъде постигнато поради конструктивни или други съображения, в частни случаи се пристъпва към геометрични промени в модела [55].

В случай, че резултатите от анализите покриват критериите, които са зададени от възложителя, се пристъпва към трета фаза от методологията за предвиждане и оптимизация на процеса при шприцване – валидация. Различни елементи на процеса не могат да бъдат отразени във виртуална среда, което налага нуждата от валидация между виртуален и физически прототип, който да утвърди или промени зададените процесни параметри. За целта се проектира прототипен формообразуващ инструмент, който ще валидира както дизайна (ако се търси определена форма за ергономия, която не може да бъде валидирана чрез 3D принт), така и откриване на дефектност или несъвършенство [90, 91].

2.5. Изводи към глава 2

Разработена е методологична последователност за предвиждане и оптимизация на процесните параметри и точностни показатели на сложни пластмасови изделия чрез виртуални прототипи.

Дефинирането на адекватна конструкция, която изпълнява дадени размери и точности, както и технологичност на геометрията по отношение на шприцване, е съществен елемент в методологията, осигуряващ стеснени граници за по-нататъшна оптимизация на процеса.

Използвани са в максимална степен вградените функции и последователност на симулационните софтуери при шприцване, осигуряваща максимално прости стъпки и итерации напред и назад в процеса.

Предложеният подход показва съществени възможности за контрол на деформациите чрез правилен подбор на параметрите на процеса.

Предложеният подход предоставя по-сигурен начин за минимална дефектност на изделията в етапа на проектирането им като рискът от връщане на изделията за корекция в етапа на подготовка е сведен до минимум.

В резултат на експериментални изследвания е установена нуждата от допълнителна стъпка, изразяваща се във валидация между виртуалния и физически прототип чрез изработване на предварителен формообразуващ инструмент, който има за цел да потвърди желаните резултати преди пристъпване към окончателно изграждане на инструменталната екипировка.

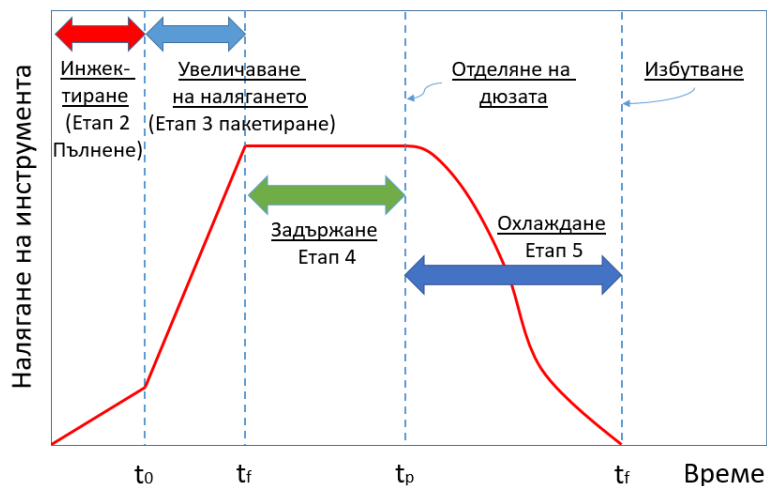
3. ОПТИМИЗИРАНЕ ПРОЦЕСА НА ЗАПЪЛВАНЕ ПРИ ШПРИЦВАНЕ С ЦЕЛ ПОДОБРЯВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ИЗДЕЛИЕТО ЧРЕЗ ДЕФИНИРАНЕ НА ОПТИМАЛНИ ПАРАМЕТРИ (СКОРОСТ НА ШПРИЦВАНЕ, НАЛЯГАНЕ, ТЕМПЕРАТУРА НА СТОПИЛКА И ИНСТРУМЕНТ И ДР.)

Формоването във формообразуващи инструменти под високо налягане (шприцване) е една най-често използваните технологии за производство на пластмасови изделия. Най-времепоглъщащ цикъл по време на шприцването, е този при охлаждането на системата. В немалко случаи, той може да бъде с времетраене 50-80% от целият процес (фиг. 3.1).

3.1. Анализ на технологичните етапи и параметри на процеса на шприцване

При правилно охлаждане се постигат оптимални физико-механични и експлоатационни свойства на структурата на изделията. За да е ефективна и добре работеща една охлаждаща система е нужно равномерното разпределяне на температурата по повърхнината на

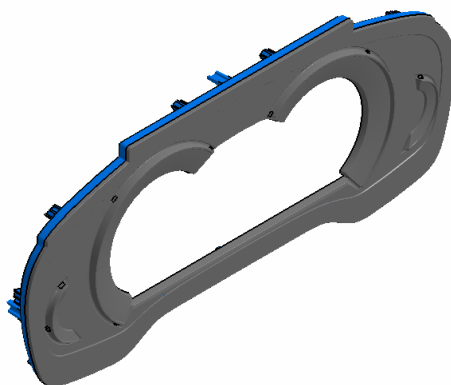
формообразуващите гнезда, равномерното отдаване или отнемане на топлина от стопилката, както и да е икономически изгодно времето за провеждане на работния цикъл [7].



фиг. 3.1 Изходна геометрия на сложен полимерен детайл [16]

3.3. Тестов пример за оптимизиране процеса на шприцване чрез влияние върху параметри на процеса

Детайлът, изследван в тестовият пример, представлява двукомпонентна предна рамка с леца на клъстър, монтиращ се в някои автомобилни модели (фиг. 3.4).

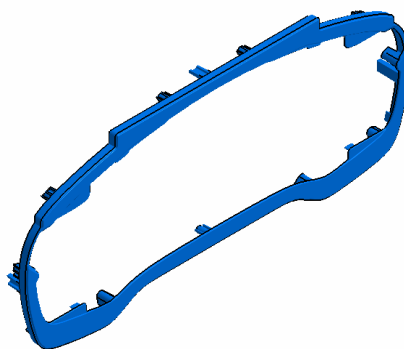


фиг. 3.2 Предна рамка с леца

При началната конфигурация на симулацията, за входни данни на процеса са заложили предложените от софтуера. Софтуерът предлага стойности по подразбиране спрямо избрания материал. По същия начин са използвани и диаметрите на лежковата система и охладителните канали.

Симулационни анализи на първи слой от предната рамка

В последващите анализи ще бъдат разгледани двата компонента на предна рамка поотделно за по-добра прегледност (фиг. 3.5).



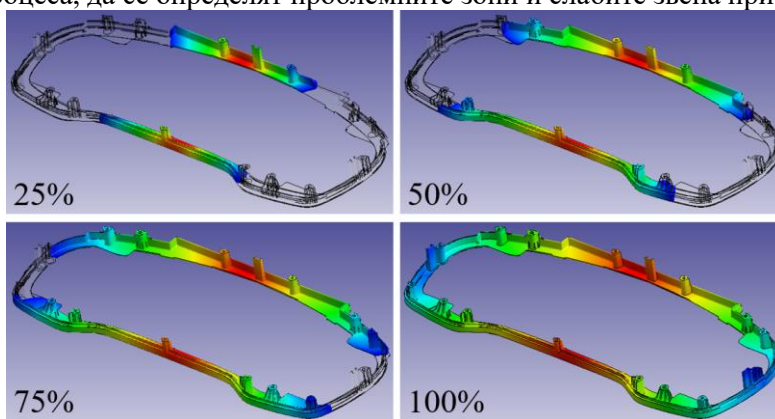
фиг. 3.3 Първи слой от двукомпонентния детайл (предна рамка)

Входните данни на процеса са избрани по подразбиране от програмата, на база избрания по-горе материал и са показани в табл. 3.1.

таблица 3-1 Начални параметри на процеса при първи слой на предна рамка

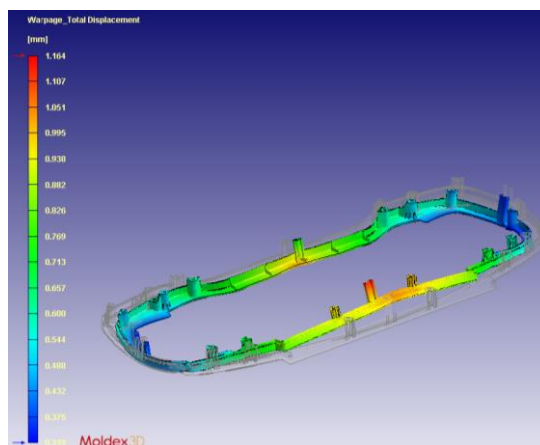
	Симулация № 1
Време за запълване	1 sec
Температура на стопилката	320 °C
Температура на инструмента	110 °C
Максимално налягане на шприцване	120 MPa
Време за задържане след шприцване	4 sec
Време за охлаждане	11 sec
Максимално налягане на шприцване	120 MPa
Време на превключване от пълнене до задържане	98%
Време за отваряне на инструмента	5 sec
Температура на избутване	150 °C
Температура на въздуха	25 °C

С помощта на първоначалната конфигурация може да се извлече важна информация за поведението на процеса, да се определят проблемните зони и слабите звена при шприцване.



фиг. 3.4 Етапи на запълване на първия слой при Симулация № 1

На фигура 3.10 се вижда, че при геометрията на този детайл има предпоставка за големи деформации поради малките напречни сечения (рамкообразна форма). Максималните деформации при този анализ са със стойност 1.2 мм.

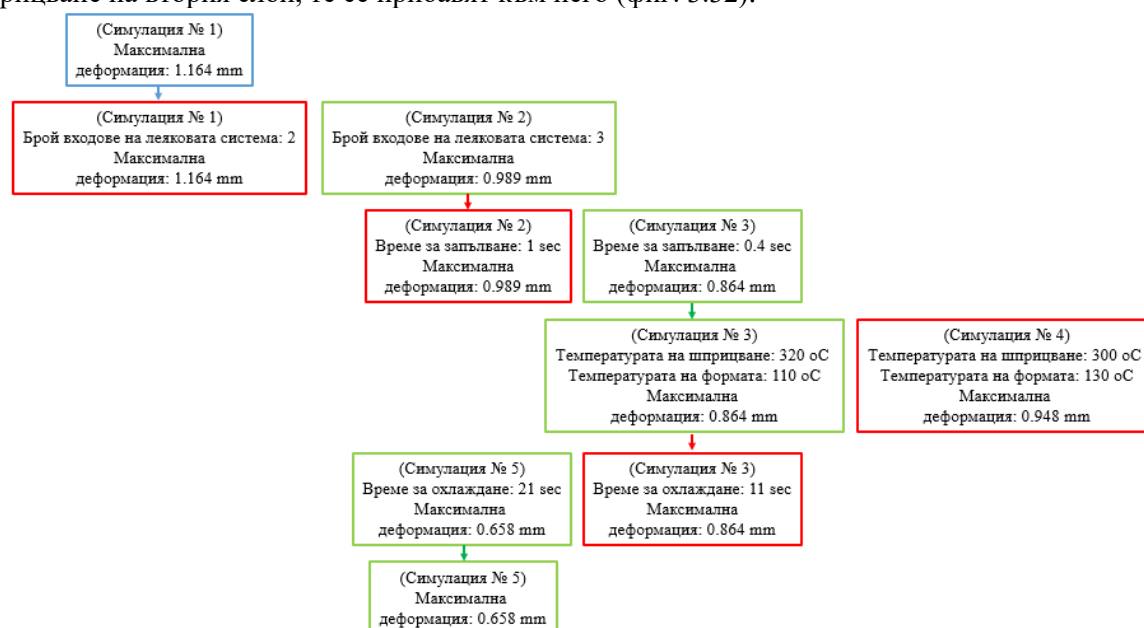


фиг. 3.5 Обща деформация при Симулация № 1

Показаната деформация на първия слой на фиг. 3.10, е скалирана. Чрез преекспонирането и може по-лесно визуално-когнитивно да се определят тенденциите и проблемните зони.

Резултати от анализите на работните параметри на предна рамка

Дървовидна структура на анализи е показана на фиг. 3.53 при намиране на най-оптимални стойности при зададени критерии. От данните на фиг. 3.32 може да се стигне до заключението, че стойността на деформациите спада с 0.506 mm (от 1.164 mm до 0.658 mm). Деформациите, достигнати при първия слой са важни при последваща оптимизация, поради факта, че при шприцване на втория слой, те се прибавят към него (фиг. 3.32).



фиг. 3.6 Етапи на оптимизация на първи слой от двукомпонентния детайл

Симулационни анализи на втори слой от предната рамка

При началната конфигурация на симулацията, за входни данни отново се избират тези, предложени от софтуера. Леяковата и охладителната система се избират аналогично. Вторият слой на предната рамка е показан на фиг. 3.33.



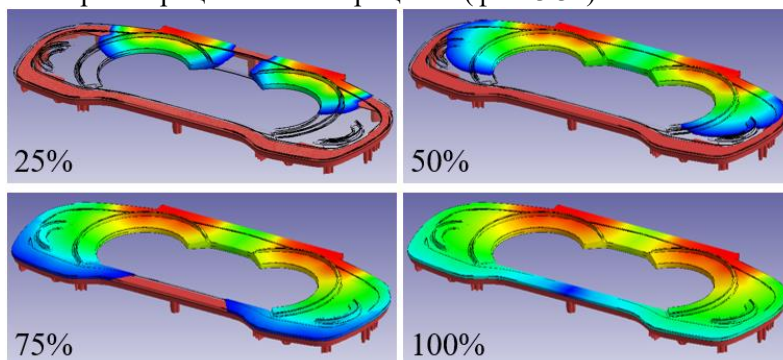
фиг. 3.7 Втори слой от двукомпонентният детайл (предна рамка)

Входните данни на процеса са избрани по подразбиране от програмата, на база избрания материал и са показани в табл. 3.8.

таблица 3-2 Начални параметри на процеса при втори слой на предна рамка

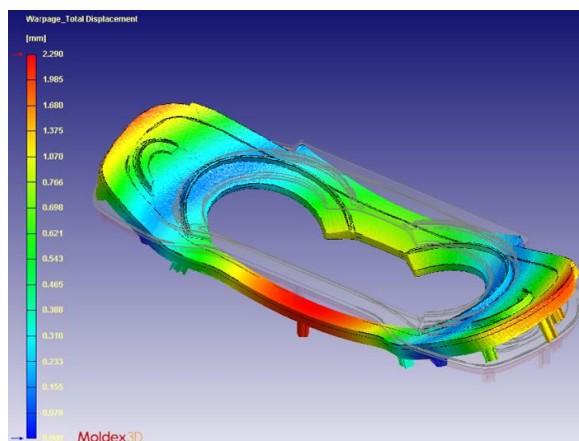
	Симулация № 1
Време за запълване	1 sec
Температура на стопилката	320 °C
Температура на инструмента	110 °C
Максимално налягане на шприцване	120 MPa
Време за задържане след шприцване	4 sec
Време за охлаждане	11.5 sec
Температура на охлаждащата течност	75 °C
Дебит на охлаждащата течност	120 cm^3/s
Максимално налягане на шприцване	120 MPa
Време на превключване от пълнене до задържане	98%
Време за отваряне на инструмента	5 sec
Температура на избутване	150 °C
Температура на въздуха	25 °C

Анализът след първоначална конфигурация дава ясна представа за посоката, която трябва да се поеме за оптимизиране процесите на шприцване (фиг. 3.34).



фиг. 3.34 Етапи на запълване на втори слой при Симулация № 1

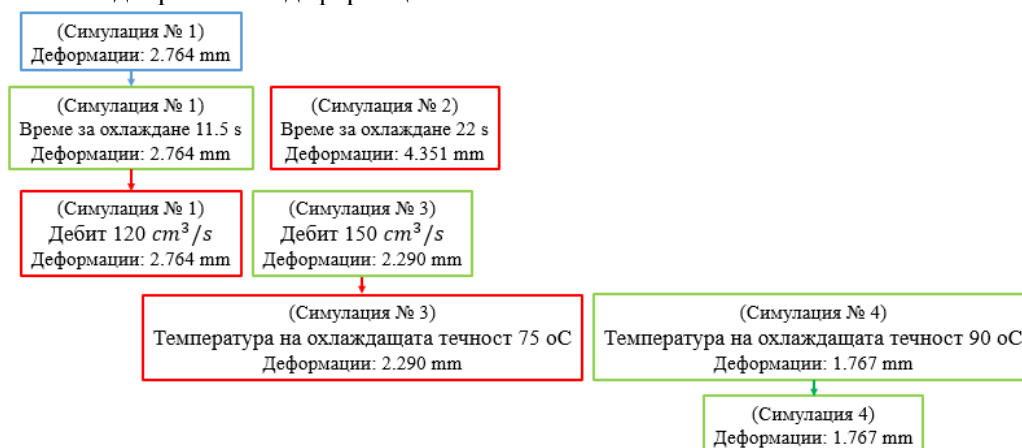
Обща деформация- показва максималното преместване от нулевата ос (фиг. 3.52).



фиг. 3.52 Деформации при Симулация №3

Резултати от анализите на работните параметри на втори слой от предна рамка

След проведената поредна оптимизация се наблюдава отново спад на деформациите до стойност 1.767 mm. Тази стойност е достатъчно ниска, за да достигнем до заключението, че такъв детайл може да влезе в производство. Времето от даване на зелена светлина за изработка на инструмента, до реалното започване на производството на детайла дава възможност за допълнително подобряване на деформациите.



Фиг. 3.53 Етапи на оптимизация на втори слой от двукомпонентния детайл

3.4. Изводи към глава 3

Анализирани са всички основни фактори определящи процеса на запълване при шприцване с цел подобряване качеството на изделието чрез дефиниране на оптимални параметри, сред които:

- Позиции на вход на стопилката;
- Скорост на шприцване;
- Налягане;
- Температура на стопилката и инструмента и др.

Предложен е подход за бързо определяне на работни параметри при шприцване, който дава голяма степен на точност на виртуалният прототип, при които се отчитат основни фактори на влияние на процеса на запълване. Тези данни са приложими при оптимизацията на конструкцията, както на детайла, така и на инструмента и могат да се прилагат още в етапа на проектиране на изделието във виртуална среда.

Изборът на брой входове на стопилката и тяхното позициониране е важна стъпка за намаляване дефектността и определянето им е важно да се осъществи максимално рано в процеса на развитие. Разполагане на повече от един вход намалява налягането на шприцване, което влияе благоприятно върху деформациите, но също така крие риск за образуване на линии на съшиване, промяна на свойствата на полимера в различните части на детайла и др.

Намаляване времето на запълване влияе пряко както върху общият цикъл на шприцване, така и върху деформациите след охлаждане. В някои конкретни случаи може да влияе

неблагоприятно, поради повишаване на налягането при шприцоване, което налага допълнително внимание върху този параметър.

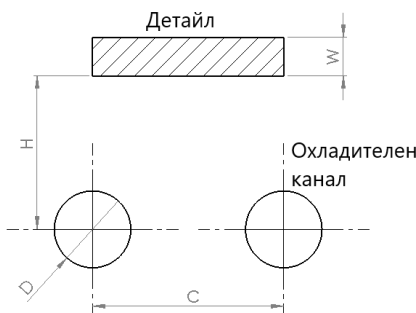
Температурата на стопилката има съществено влияние върху времето за охлаждане и деформациите след цикъла на шприцоване. Шприцоване на материал в неговите горни граници има благоприятен ефект върху неговата вискозност, но етапът на охлаждане се увеличава значително за да намали максимално деформациите след изваждане, което води до чувствително по-дълъг цикъл на шприцоване.

Температурата на инструмента се определя спрямо конкретния случай, от който зависи големината на шприц формата, температурата на стопилката, типът дюза и др.

4. ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ОХЛАЖДАНЕ ВЪРХУ КАЧЕСТВАТА НА ИЗДЕЛИЕТО

Основен въпрос, който трябва да се реши при конструирането на охладителната система е правилното ѝ разположение с оглед равномерното охлаждане на поансона и матрицата, което гарантира качество на крайното изделие [44].

При проектирането на темпериращата система се съблюдават параметри като - диаметър, стъпка между каналите, отстояние от детайла и дължина на канала (фиг. 4.5). Първите три променливи се изчисляват спрямо дебелината на стените на детайла [16].



Фиг. 4.5 Параметри на охладителната система

4.4. Тестов пример за изследване влиянието на охлаждане върху качествата на изделието

Изделието, което е изследвано на фиг. 4.4, представлява част от високоговорител, чиято форма има важно значение за качеството на произвеждания звук.



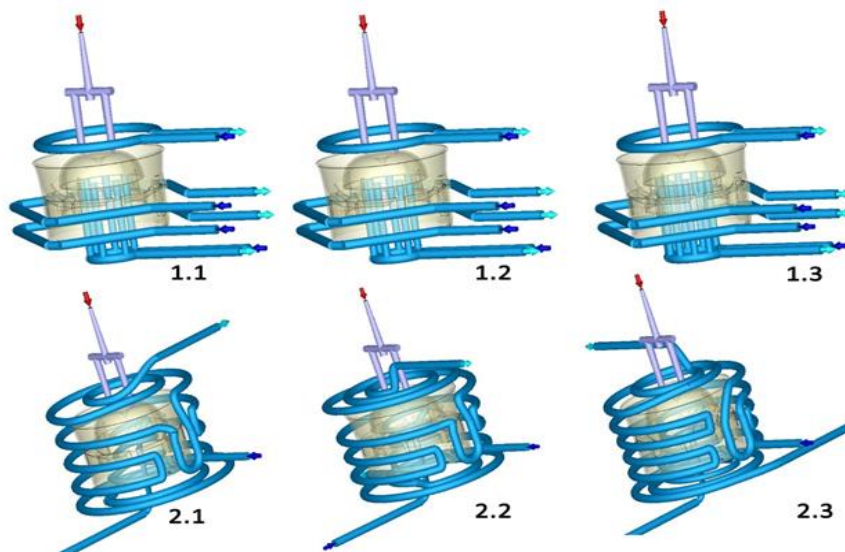
Фиг. 4.4 Лицева част от високоговорител

Данните за режима на работа на инструмента са едни и същи за всички варианти и те са следните:

таблица 4-1 Работни параметри на процеса

Време за запълване	0,4сек
Температура на стопилката	280°C
Температура на инструмента	90°C
Максимално налягане при шприцване	156MPa
Обем на шприцване	83,4cc
Време на задържане след шприцване	5сек
Максимално налягане на шприцване	156MPa
Време на превключване от пълнене към задържане	98%
Време за отваряне на инструмента	5сек
Температура на изхвърляне	160 °C
Температура на въздуха	25 °C

В текущия анализ са сравнени два типа охлаждащи системи, съобразно технологичните им възможности за изработка-конформни и конвенционални системи (фиг. 4.6).



Фиг. 4.6 Типове охлаждащи канали

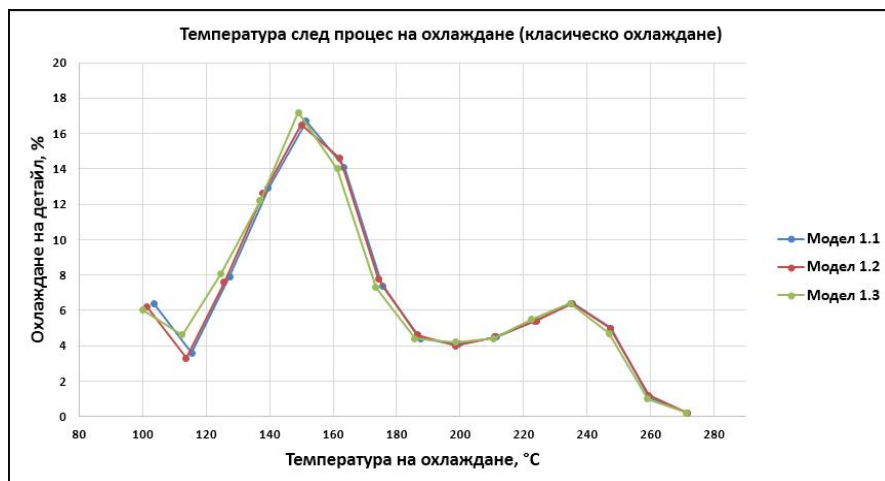
Параметрите, с които представляват интерес в текущия анализ за оптимизация на охлаждането по време на шприцване и показани на табл. 4.2, са диаметрите на охлаждащите канали, стъпката между тях и разстоянието им до материала.

таблица 4.2 Параметри на охлаждащите канали

Модел №	1.1 и 2.1	1.2 и 2.2	1.3 и 2.3
Стъпка	3D	2,5D	2D
Дълбочина	2D	1,75D	1,5D
Външен диаметър	8mm	8mm	8mm
Вътрешен диаметър	6mm	6mm	6mm

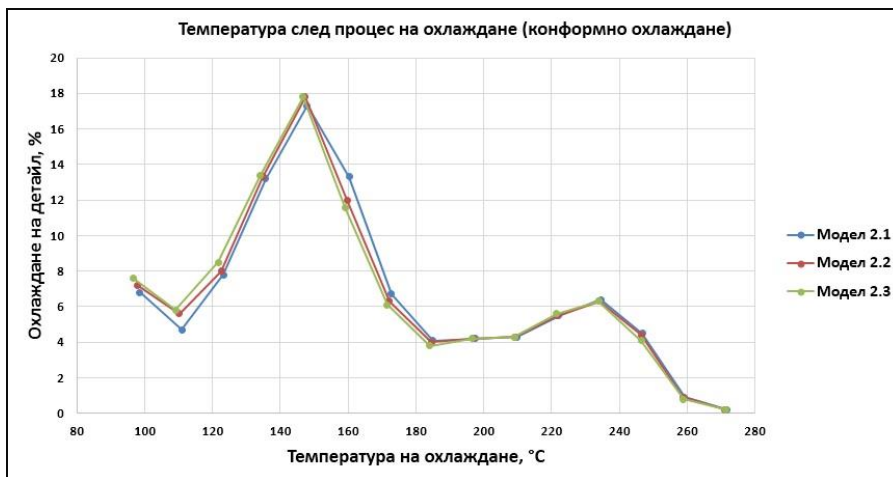
Анализ на охлаждащите канали

След провеждане на редица експерименти с параметрите от табл. 4.2, са установени слабите звена по време на шприцване, чрез които би могъл да се оптимизира процеса.



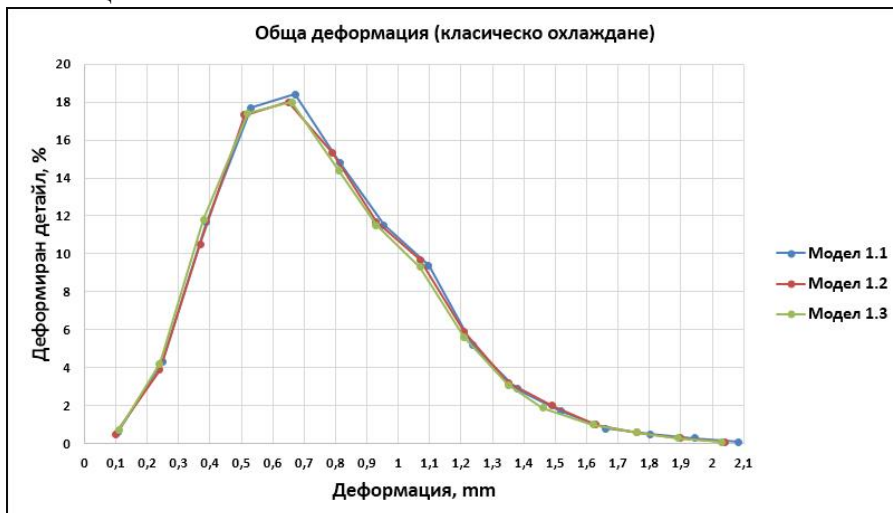
Фиг. 4.18 Температура след процес на охлаждане при класически канали

Разглежда се моментната температура точно в момент (фиг. 4.18), в който процесът на охлаждане е прекратен (според параметрите, които са зададени). Важно е дали в този момент се наблюдава наличие на все още втечен или не втвърден материал. В случая, има зони, които не са охладени достатъчно. При температура над 180°C, материалът е мек, а над 260°C е под формата на стопилка.



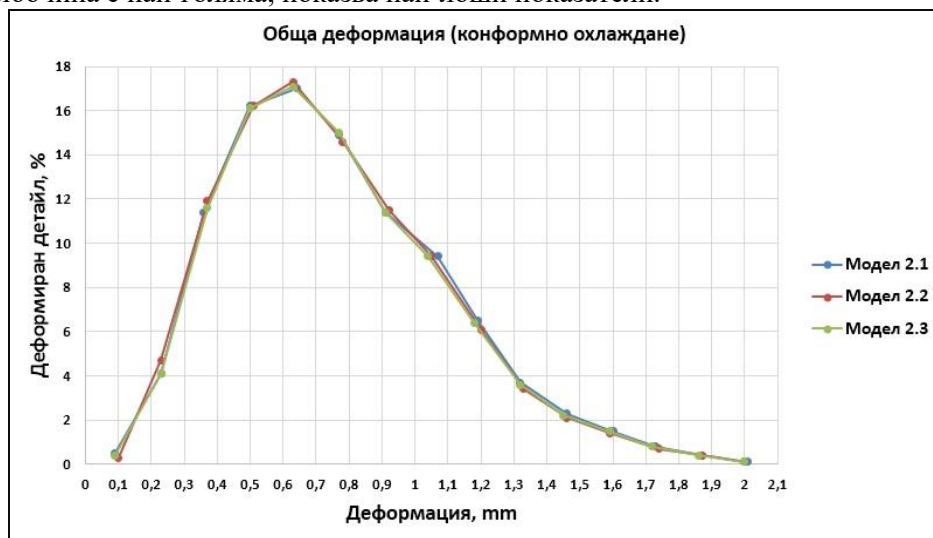
Фиг. 4.22 Температура след процес на охлаждане при конформни канали

На фиг. 4.22 може да се заключи, че охладителните канали при конформно охлаждане не се влияят до такава степен от геометрията на охладителните канали поради факта, че тях ги разпределяме възможно най-близко до повърхнината, която трябва да се охлади и по тази причина размера не оказва съществено влияние.



Фиг. 4.26 Общо изместване при класически канали

Според графиката на фиг. 4.26, модел 1.3 с най-малка стъпка и дълбочина, деформационните стойности са значително по-ниски от останалите два модела. Модел 1.1, чиято стъпка и дълбочина е най-голяма, показва най-лоши показатели.

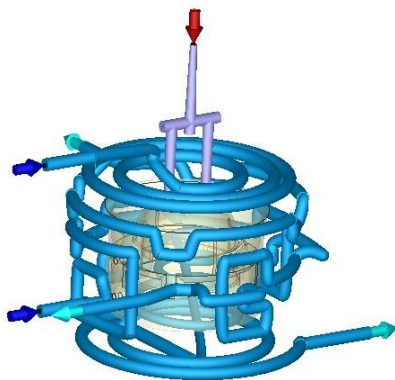


Фиг. 4.30 Общо изместване при конформни канали

Аналогично на температурата след охлаждане при конформните канали, деформацията, показана на фиг. 4.30, също не се влияе от геометрията на охлаждащите канали. При тях по-важна е топологията, от колкото размерите.

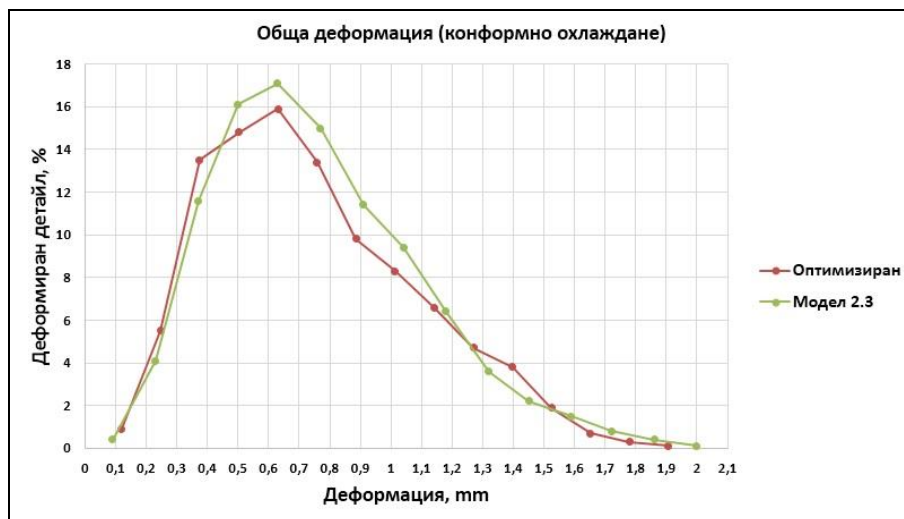
Симулационен анализ за намаляване на дефектността на инструменталната екипировка

След като са показани налице предимствата на конформното охлаждане по-горе, могат да се оптимизират конформните охлаждателни канали за още по-добри резултати като се засили охлаждането в зоните, в които има струпване на повече материал (зоните срещу ребрата), увеличат се броят кръгове с цел минимално нагряване на охлаждащата течност от вход до изход, увеличи се дебитът на канала, който ще засили проблемните зони за по-мощно охлаждане, както и ще бъде намалена температурата на охлаждащата течност (фиг. 4.35).



Фиг. 4.35 Оптимизирана конформна охлаждаща система

Сравнителната графика на фиг. 4.40 между моделът на конформно охлаждане с най-малка стъпка и дълбочина и оптимизираният вариант на конформни охлаждателни канали, ясно показва предимството на последният. Деформациите са значително по-малки, както и максималната деформация е по-ниска с 1/10mm.



Фиг. 4.40 Сравнение на общо изместване между оптимизирания вариант и модел 2.3

4.5. Изводи от глава 4

Анализирани са три типа конвенционални и три типа конформни охладителни системи като са дефинирани два основни отличителни параметъра, определящи отделните типове подсистеми:

- Дълбочина на охлаждащите канали спрямо запълващата кухина;
- Стъпка на охлаждащите канали спрямо един от друг.

От направените сравнителни изследвания на запълването и деформациите на характерна форма от практиката на производство на високоговорителни тела и специфичното влияние върху формата на различни типове конструкция и технологии за изработване на охладителни системи, могат да се направят следните изводи:

- Всички анализирани модели показват балансирано и цялостно запълване на формата;
- Ефективността на конформните охладителни канали показват средно 40% по-високи стойности на ефективност спрямо конвенционалните канални системи;
- Стойностите на абсолютните деформации са със средно 30% по-ниски при конформните охладителни канали, но липсва равномерно свиване във всички модели, което се дължи на неравномерно охлаждане.

На базата заключенията от анализите на конвенционалните и конформните охладителни системи, се изгражда оптимизиран вариант на конформна канална система с променлива стъпка с цел равномерно охлаждане. След резултатите от анализите, могат да се направят следните изводи:

- Температурата на материала след охлаждане е по-добре разпределена и балансирана, което води до 20% по-ниски абсолютни деформационни стойности спрямо предходната конструкция на конформни канали;

Като заключение от анализите за изследване влиянието на охлаждащите системи върху качеството на изделието, могат да се открият следните изводи:

При зададени едни и същи параметри, конформните охладителни системи показват по-добри резултати от конвенционалните по отношение на ефективност на охладителната система, температури след процес на пълнене и охлаждане, деформации и процент дефектност.

Променяйки единствено геометрията на каналите, могат да се постигнат добри резултати за намаляване на дефектността.

От анализа на влиянието на температура на охлаждащата течност и нейният дебит е установено, че имат основно влияние върху качеството на изделия и времето за изпълнение на един пълен цикъл на шприцване.

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.

Погрешно оразмерена и позиционирана охлаждаща система, може да доведе до множество дефекти, свързани с недозапълване на формата, голяма разлика в температурата на стопилката в процес на изстиване, което води до неравномерно свиване и др.

Препоръчително е да се изгради добре оразмерена охлаждаща система възможно най-рано в процеса на проектиране.

5. АПРОБИРАНЕ НА РАЗРАБОТЕНИТЕ ПОДХОДИ И МЕТОДОЛОГИЯ ЧРЕЗ ФИЗИЧЕСКО ПРОТОТИПИРАНЕ И ТЕСТОВЕ

Чрез имплементация на валидирането на разработения подход чрез физически тестове се очаква да доведе до повишаване на производителността и намаляване на разходите при производство. Целта е да се моделира и изследват дефектите при запълване на сложни полимерни конструкции и възможностите за оптимизация на процеса позволяващ минимализиране на изместването и охлаждащата температура след изваждане на детайла от формата.

5.1. Методология за провеждане на симулационни анализи и оптимизация на процеса на шприцване с цел избягване дефектите на изделието

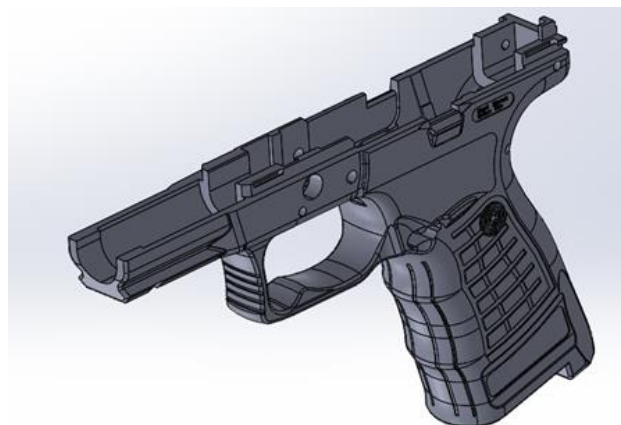
Ще бъде проведено измерване върху действителни резултати чрез физически прототип и извършен сравнителен анализ на точността между виртуалните и действителни резултати.

Посредством технологията за триизмерно сканиране ще бъдат снети експериментални данни от физически прототип с много голяма точност.

Получените резултати могат да намерат приложение в индустрията за намаляване дефектността и изместването от номиналната геометрия при формообразуващ инструмент със сложна форма, както и оптимизиране на геометрията при шприцване на такъв модел.

Изходни данни

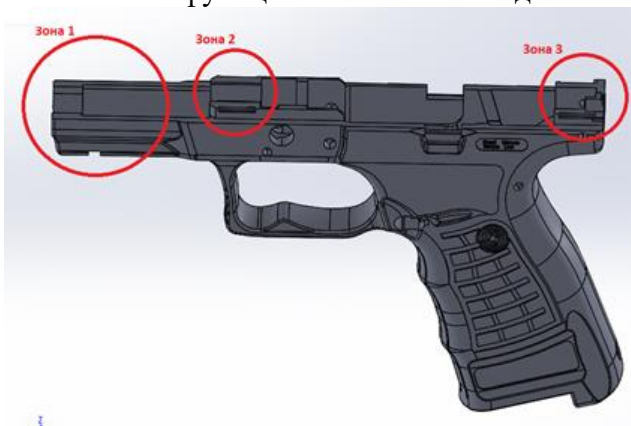
Подходът касае изследване симулирането на запълване на шприцформа и минимализиране изместванията по ос „Z“ на сложен по конструкция полимерен детайл (фиг. 5.1).



Фиг. 5.1 Изходна геометрия на сложен полимерен детайл

Контролни зони за изследване и оптимизация

В процеса на анализиране, са избрани три критични зони маркирани на фиг. 5.2, които имат съществено влияние за функционалността на изделието.

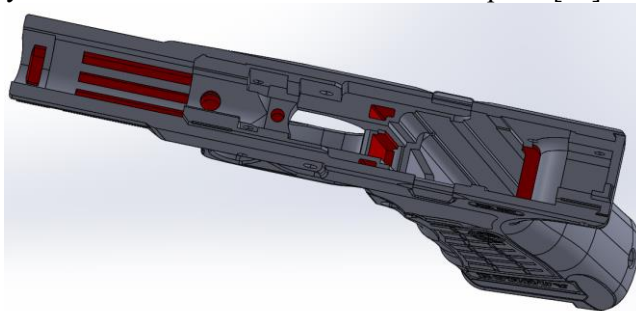


Фиг. 5.2 Контролни зони

Оптимизация геометрията на модела

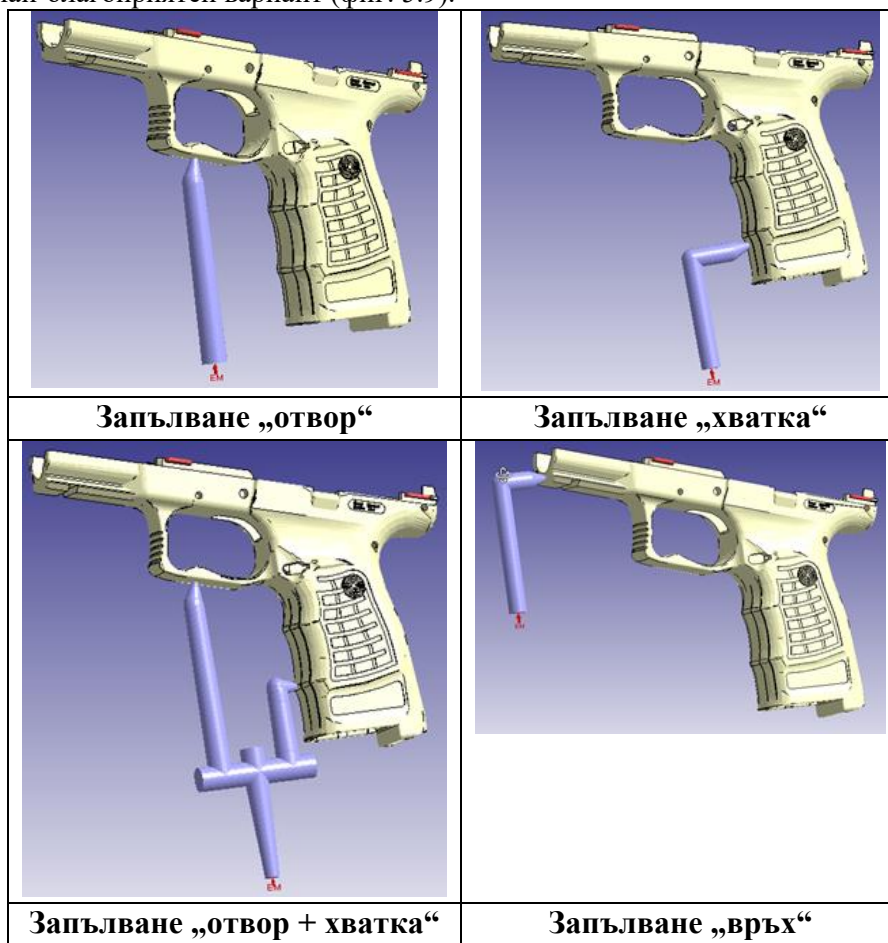
Чрез оптимизация на геометричния модел, се постига:

- Уеднаквяване дебелините на стените, което е от важно конструктивно значение за превенция от дефекти и изкривяване от номиналната форма след шприцване;
- Избягване натрупването на излишно количество материал [35].



Фиг. 5.4 Оптимизация геометрия на сложен полимерен детайл в изометрия

Запълването на формата се осъществява чрез анализи на пълнения в различни точки с цел да се открие най-благоприятен вариант (фиг. 5.9).



Фиг. 5.8 Видове точки на запълване

Извършени са 28 анализа на запълване като итеративно е търсена най-подходящата геометрична структура и оптималното място на пълнене при запазване на текущите параметри на процеса.

таблица 5.3 Абсолютни деформации по ос „Z“ в точка 1



таблица 5.4 Абсолютни деформации по ос „Z“ в точка 2

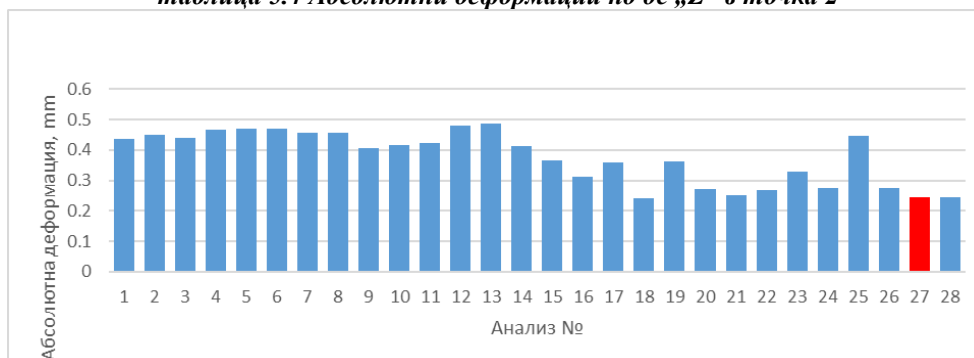
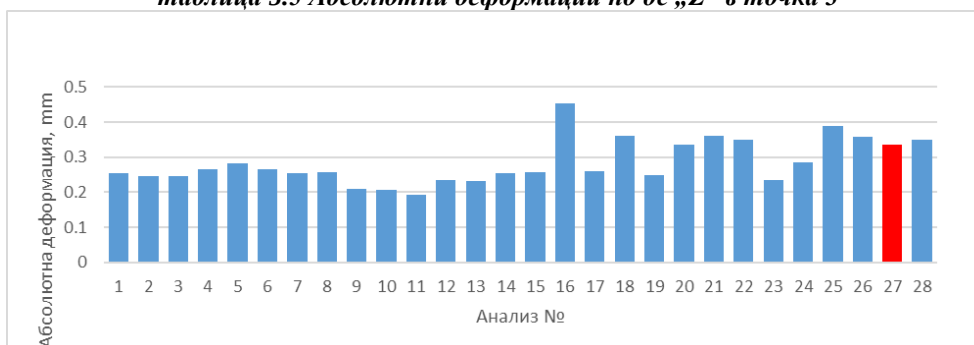


таблица 5.5 Абсолютни деформации по ос „Z“ в точка 3



След 28 различни вариации на параметри и място за пълнене, в трите контролни точки са установени най-благоприятни резултати в анализ №27.

Сравнителен анализ на точността между виртуален и физически прототип

Сравнителният анализ между модела за виртуално прототипиране и физическия модел се извършва с помощта на софтуера 3DReshaper. Омрежването се извършва въз основа на облак от точки, които се доставят от безконтактно лазерно измервателно устройство от висок клас ROMER Absolute Arm 7329 SI (фиг. 5.15).



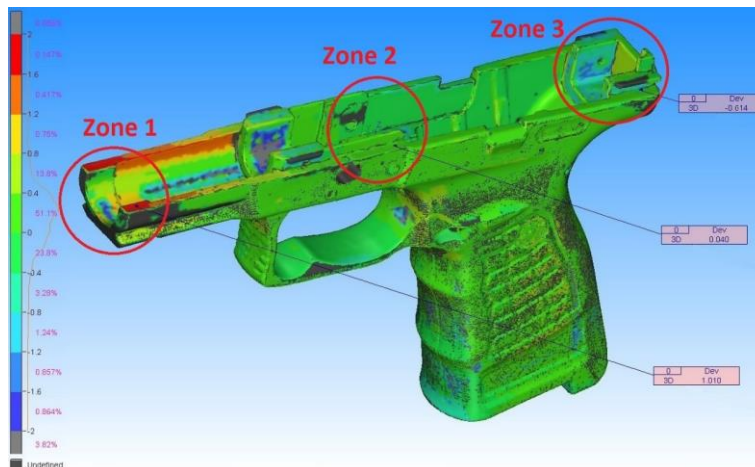
Фиг. 5.14 3D скенер Romer absolute arm 7320 SI

В таблица 5.6 е показано изместването по ос Z в трите контролни зони в проценти.

таблица 5.6 Разлика в изместването в проценти

	Зона 1	Зона 2	Зона 3
Виртуален прототип	1.01	0.045	0.64
Сканиран модел	0.9	0.04	0.7
Проценти (%)	11.5%	11.7%	8.9%

Резултатът от изследването дава високо съответствие между виртуалния прототип и физическия модел.



Фиг. 5.15 Сканиран модел с изместване по ос Z

Изводи към точка 5.1

След проведеното изследване, могат да се формулират следните изводи:

Анализирани са възможностите за виртуално прототипиране при изследване процеса на шприцване на инструмент със сложна форма, с цел избягване дефектите на изделиято, както и оптимизиране геометрията при шприцване на такъв модел.

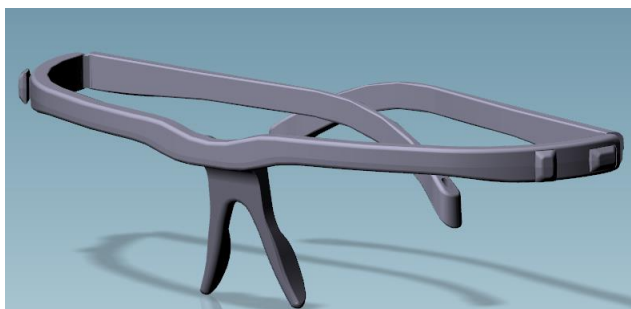
Изготвена е методология за провеждане на изследвания и симулационни анализи за намаляване дефектността и изместването от номиналната геометрия при формообразуващ инструмент със сложна форма, която може да намери приложение в индустрията.

Представен е сравнителен анализ за оценка на точността между виртуален и физически прототип чрез който се очаква да сведе грешките от виртуалните симулационни анализи до минимум и в същото време да повиши производителността и намали разходите при евентуална корекция след производство на окончателен формообразуващ инструмент.

5.2. Изследване на проектно решение за екстремна концепция на рамка за очила с еластична панта чрез физическо прототипиране и валидиране чрез мек инструмент

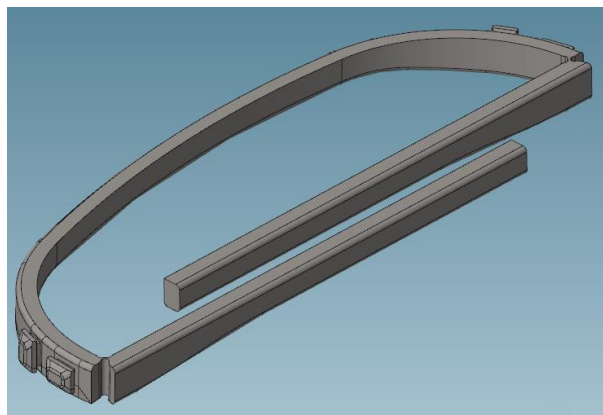
Целта на проекта е да се изследват дефектите при запълване на сложни полимерни конструкции и възможностите за оптимизация на процеса позволяващ минимизиране на изместването и охлаждащата температура след изваждане на детайла от формата.

Резултатите от симулациите могат да намерят приложение в индустрията за преждевременно откриване на нежелани дефекти чрез изработване на мек инструмент, намаляване процента дефектност и изместването от номиналната геометрия чрез оценка на параметри в процеса на шприцване, както и оптимизиране на геометрията при шприцване на такъв модел с помощта на „маскиране“ на повърхността, в случаи когато процесните параметри не могат да постигнат желаните резултати.



Фиг. 5.18 Защитна рамка

Рамката на фиг. 5.19 е проектирана сгъваема, което налага изработването на еластични панти тип live hinge.



Фиг. 5.20 Защитна рамка, опростена

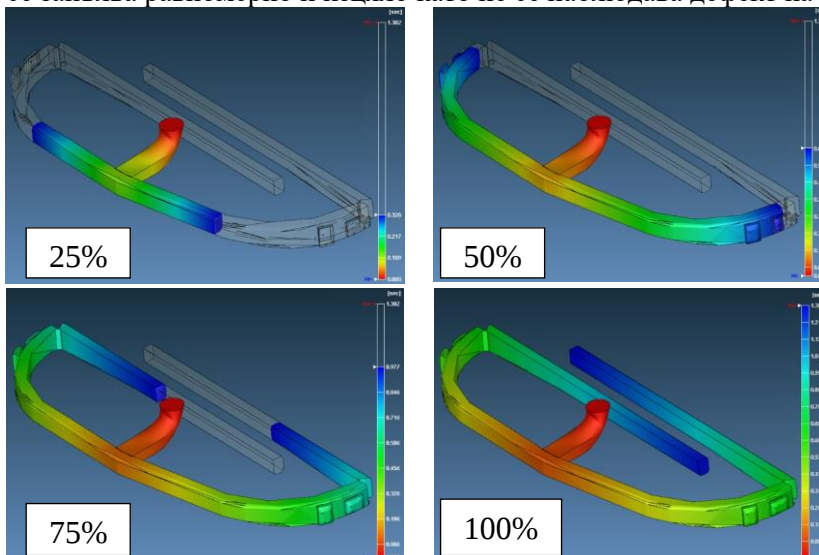
Симулационни анализи на шприцване

Моделирана е опростена рамка за изграждане на бърз инструмент с цел тест на пантите (фиг. 5.20).

таблица 5.7 Входни параметри на процеса

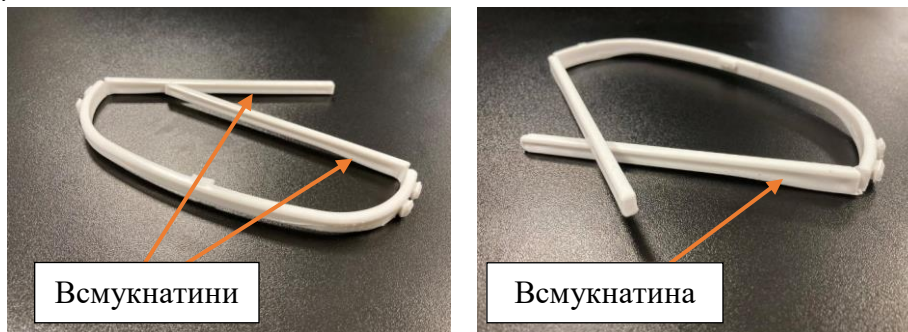
Параметри	Мерна единица	Стойност
Време за пълнене	sec	0.5
Време за задържане	sec	4
Време за охлаждане	sec	10
Температура на инструмент	°C	30
Температура на стопилка	°C	245

Формата се запълва равномерно и изцяло като не се наблюдава дефект на недозапълване.



Фиг. 5.22 Запълване на формата

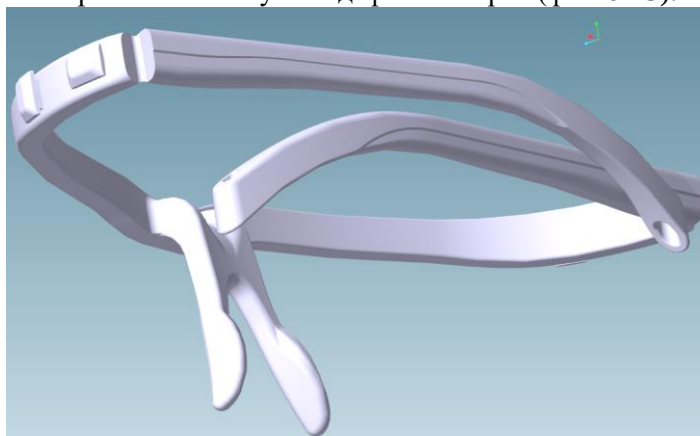
След изработването на формообразуващите плочи (фиг. 5.25) и последвалото шприцване на детайла, се установява силно нежелан дефект на всмукнатина в зоните след стъгането на пантата (фиг. 5.26), който не се наблюдава във виртуалните анализи. Това дава повод за съмнения в достоверността на симулационните моделиери при шприцване поради крайно невярната картина на свиването.



Фиг. 5.27 Физически прототип на бърз инструмент

Оптимизация на геометричния модел

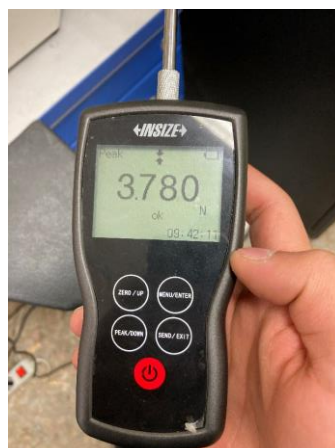
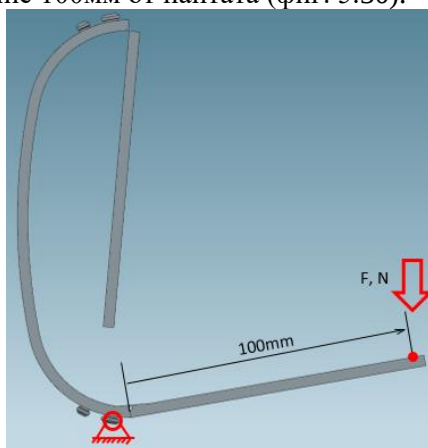
Въпреки подробните и изчерпателни анализи за намаляване на дефектността „всмукнатина“ в зоната на двете рамена след еластичната панта с оптимизираните параметри, дефектността е минимизирана, но все още съществува. Това налага оптимизиране на геометрията с цел „замаскиране“ на евентуален дефект с шарка (фиг. 5.29).



Фиг. 5.29 Оптимизирана геометрия на рамена след еластична панта

Тест на еластичната панта на циклична умора и сила на счупване

Тестът се състои в две деструктивни фази. В първата фаза ще се тества еластичната панта на статично натоварване. За целта се използва дигитален силомер, чрез който ще се подложи натиск на отстояние 100мм от пантата (фиг. 5.30).



Фиг. 5.30 и Фиг. 5.31 Опростена рамка за тест на пантата, статично натоварване / Резултат от статично натоварване на опростена рамка

Измереният резултат е 3,78N, което се обуславя на факта, че рамката бива фиксирана в непосредствена близост до пантата и се губи цялостната еластика на изделието.

Вторият тест се състои в тестването на еластичната панта на умора. Идеята е да се провери броят отваряния и затваряния преди пантата да се счупи. За целта се използва ротационна ос на пробивна машина и ексцентрик, който кара рамото да се отваря, а ластик го затваря.



Фиг. 5.32 Установка за циклично натоварване на еластична панта

Резултата след двадесетия час: над 100 000 цикъла и без никакви външни белези за умора на материала.

Краен физически продукт



Фиг. 5.34 Защитни очила с шлем, краен продукт

Изводи към точка 5.2

След проведеното изследване, могат да бъдат направени следните изводи:

Анализирани са възможностите на виртуално прототипиране при изследване процеса на шприцване с цел свеждане на процента дефектност до минимум.

След изработване на предварителен формообразуващ инструмент с цел валидация на еластична панта, се установява силно несъответствие между виртуалните симулации и физическият модел.

Получените резултати от мекия инструмент дава повод за съмнения в достоверността на симулационните моделиери при шприцване поради крайно невярна картина на свиването.

Установена е нуждата от внедряване на допълнителна стъпка за валидация на геометрията чрез изработването на мек инструмент поради затруднения от страна на софтуера да предвиди поведението на материала в частни случаи на специфична геометрия (в случая силно изтънен участък на еластична панта).

Поради невъзможност за надеждностен анализ на еластична панта във виртуална среда, се изработва мек инструмент за тест на геометрията.

Предприето е решение за “маскиране” на дефектност „всмукнатина“ чрез оформяне на специфични „стъпала“ на повърхността в областта на всмукванията за да се прикрият оптично.

5.3. Изследване потока на стопилката и влиянието ѝ върху дефектността при физическият модел

При оптични елементи, изискванията към процента на дефектност са по-високи отколкото при обичаен пластмасов детайл. В конвенционалните случаи, където липсва прозрачност, оценката се формира предимно на базата на повърхнинни дефекти, докато при прозрачни елементи, дефекти могат да се сформират и в самият материал. В оптиката, когато има случай на “crystal clear”, изискванията за чиста прозрачност и качество, са изключително високи, особено, когато се изработва детайл, през който минава зрението (в случая „визьор“).

Детайлът, изследван в последващите анализи, представлява прозрачни предпазни очила за целите на индустрията и тежък труд (фиг. 5.35).



Фиг. 5.35 Виртуален модел на изделието

Изследване на детайл „визьор“

Целевата геометрия се състои в прозрачен корпус с дъгообразна сложна предна повърхност, централно разположен носов мост и два очни панела, симетрично разположени спрямо носовият мост (фиг. 5.37).



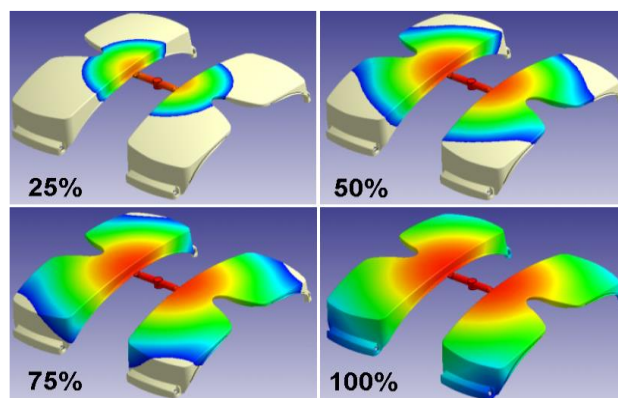
Фиг. 5.37 Геометрично тяло „визьор“

Работните параметри на шприцване са зададени след редица анализи за определяне на най-добри стойности (табл. 5.13).

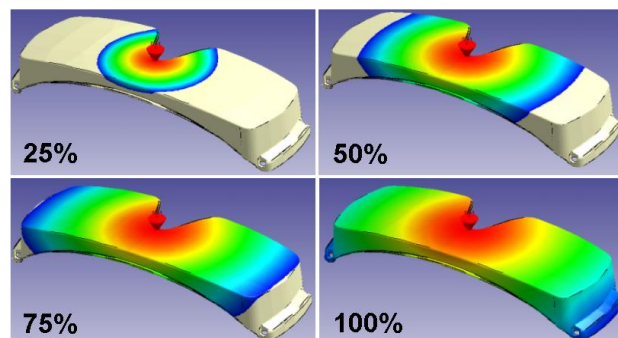
таблица 5.13 Входни параметри на процеса

Параметри	Топла дюза	Студен леяк
Време за пълнене	1 сек	1,8 сек
Време за задържане	2 сек	4 сек
Време за охлаждане	10 сек	10 сек
Налягане на шприцване	130 МПа	130 МПа
Налягане на задържане	70 МПа	70 МПа
Температура на инструмент	110 °C	110 °C
Температура на стопилка	300 °C	300 °C

За целите на разработка на най-оптимален дизайн на леякова система, са разгледани няколко типа в симулационните анализи за избор на най-благоприятни работни параметри и позиции на вход на стопилковият поток. Обект на анализи са вариант със студени леяци (фиг. 5.38) и топлоканална дюза (фиг. 5.39).



Фиг. 5.40 Запълване на формата със студени леяци на детайл „визьор“

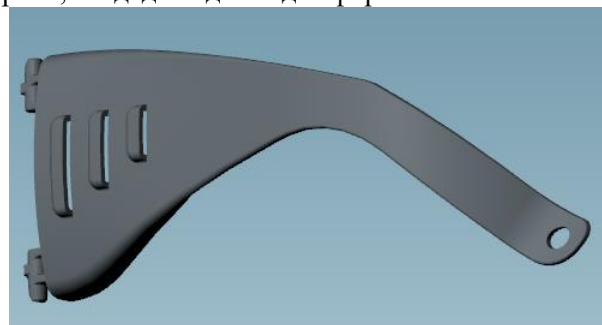


Фиг. 5.41 Запълване на формата с топла дюза на детайл „визьор“

Запълването на формата е ключов момент, чрез който може да се извлече ценна информация за това колко балансирано се разпределя стопилковия поток. Стените на матрицата трябва да бъдат запълнени равномерно, по едно и също време (фиг. 5.40 и фиг. 5.41).

Изследване на детайл „рамо“

Геометрията на детайл „рамо“ (фиг. 5.44) се състои в прозрачни рамене с ергономична сложна пространствена крива, създадена да следва формата на главата.



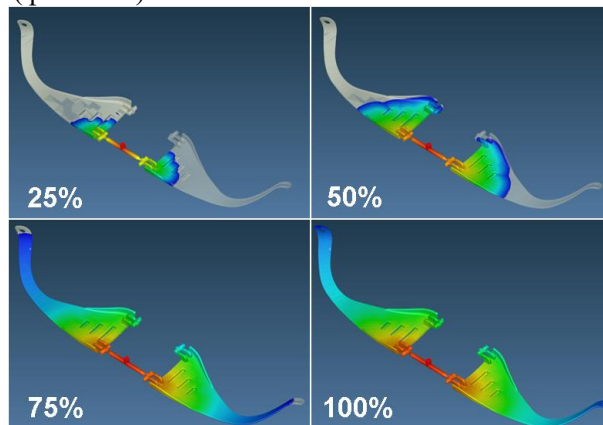
Фиг. 5.44 Геометрично тяло „рамо“

Работните параметри на шприцване са зададени след редица анализи за определяне на най-добри стойности (фиг. 5.14).

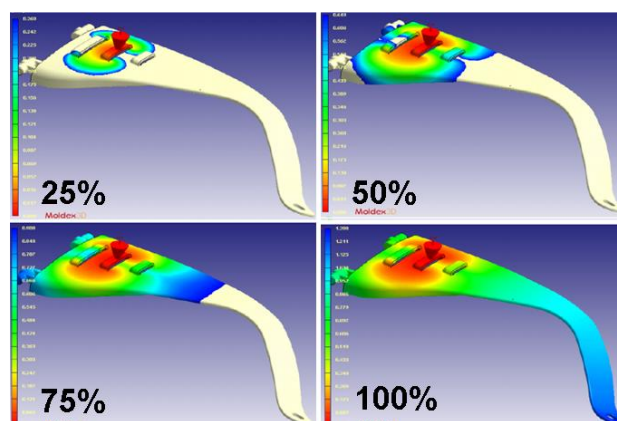
таблица 5.14 Входни параметри на процеса

Параметри	Студен леяк	Топла дюза, вариант 1	Топла дюза, вариант 2
Време за пълнене	1,2 сек	1,2 сек	1,2 сек
Време за задържане	2 сек	2 сек	2 сек
Време за охлаждане	10 сек	10 сек	10 сек
Налягане на шприцване	120 МПа	120 МПа	120 МПа
Налягане на задържане	70 МПа	70 МПа	70 МПа
Температура на инструмент	120 °C	120 °C	120 °C
Температура на стопилка	305 °C	305 °C	305 °C

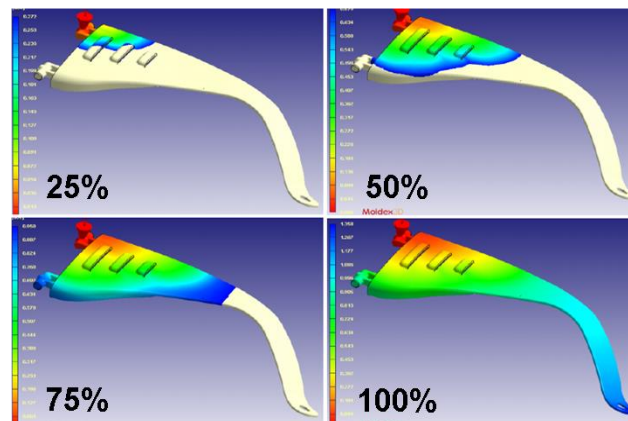
Обект на анализи са три варианта на разположение на входовете на стопилка като първият се състои от студена леякова система с инжектиране на материал от страната на пантите (фиг. 5.45). Вторият и третият вариант са топлоканални дюзи с инжектиране от страна на пантите и от страна на средното ребро (фиг. 5.46).



Фиг. 5.47 Запълване на формата със студени леяци на детайл „рамо“



Фиг. 5.48 Запълване на формата с топлоканални дюзи при вариант 1 на детайл „рамо“



Фиг. 5.49 Запълване на формата с топлоканални дюзи при вариант 2 на детайл „рамо“

Физически модели на защитни очила

Анализа на резултатите от физическото прототипиране (фиг. 5.51) доведе до няколко основни извода към виртуалния модел на защитните очила:

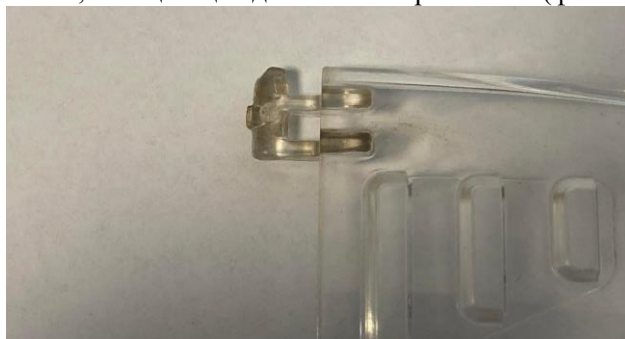
Подбрани са правилните параметри на предният визьор на защитните очила (фиг. 5.52). Постигнато е необходимото качество на повърхнината и добро ниво на прозрачност с продължителност на носене на изделиято от 8-часова работна смяна без признаци на затормозяване на зрението;

Необходима е промяна на типът леякова система на детайл „рамо“ (фиг. 5.53) – използване на студени леякови канали за постигане на по-добро качество на изделиято в зоната на шприцване.



Фиг. 5.51 Прототипна бройка „защитни очила“

Полученият нагар в зоната на инжектиране е породен от смущение на потока поради краткият път, който минава материала в леяковата система. Това накара авторът чисто експериментално на база на експертиза, по емпиричен път да коригира леяковата система. Удължен е пътя на стопилката, имащ за цел да стабилизира потока (фиг. 5.53).



Фиг. 5.53 Детайл „рамо“ с дефект



Фиг. 5.55 Оптимизирана леякова система, детайл „рамо“

Изводи към точка 5.3

След проведеното изследване, могат да бъдат отличени следните изводи:

Анализирани са възможностите на виртуалното прототипиране при изследване на 100% прозрачност на изделието с цел свеждане на процента дефектност до минимум.

След изработване на прототипен мек инструмент с цел валидация и проверка за смущения в стопилковия поток по време на шприцване, е установен дефект на замазване в зоната на втока при детайл „рамо“.

Предприето е решение за промяна на типът леякова система, което да удължи и „успокои“ стопилковия поток преди да навлезе във формата.

6. ОБЩИ ИЗВОДИ

Разработена е методологична последователност за предвиждане и оптимизация на процесните параметри и точностни показатели на сложни пластмасови изделия чрез виртуални прототипи.

Чрез практическа имплементация на предложената методика е установено, че съществуват реални възможности за контрол на деформациите чрез правилен подбор на параметрите на процеса.

В резултат на експериментални изследвания е установена нуждата от допълнителна стъпка, изразяваща се във валидация между виртуалния и физически прототип чрез изработване на предварителен формообразуващ инструмент, който има за цел да потвърди желаните резултати преди пристъпване към окончателно изграждане на инструменталната екипировка.

Предложен е подход за бързо определяне на работни параметри при шприцване, който дава голяма степен на точност на виртуалният прототип, при които се отчитат основни фактори на влияние на процеса на запълване.

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.

Изведени са обобщени правила за влиянието на процесните параметри върху дефектността на изделието, чрез които е възможно да се намерят сравнително бързо най-подходящите режими на работа.

Изборът на брой входове на стопилката и тяхното позициониране е важна стъпка за намаляване процента дефектност и определянето им е важно да се осъществи максимално рано в процеса на развитие.

При зададени едни и същи параметри, конформните охладителни системи показват по-добри резултати от конвенционалните по отношение на ефективност на охладителната система, температури след процес на пълнене и охлаждане, деформации и процент дефектност.

Препоръчително е да се изгради добре оразмерена охлаждаща система възможно най-рано в процеса на проектиране. В противен случай това може да доведе до множество дефекти, свързани с недозапълване на формата, голяма разлика в температурата на стопилката в процес на изстиване, което води до неравномерно свиване и др.

С помощта на практически пример е представен анализ на възможностите за виртуално прототипиране при изследване процеса на шприцване на инструмент със сложна форма, с цел избягване дефектите на изделието, както и оптимизиране геометрията при шприцване на такъв модел.

Резултатите от изработване на предварителен формообразуващ инструмент, с цел валидация на еластична панта, установяват силно несъответствие между виртуалните симулации и физическият модел.

Получените резултати от мекия инструмент на рамка за очила дава повод за съмнения в достоверността на симулационните моделиери при шприцване поради крайно невярна картина на свиването.

Установена е нуждата от имплементация на допълнителна стъпка за валидация на геометрията чрез изработването на мек инструмент поради невъзможност за предвиждане на поведението на материала в частни случаи на специфична геометрия от страна на софтуера.

7. ПРИНОСИ

7.1. Научно-приложни приноси

- Разработена е методологична последователност за предвиждане и оптимизация на процесните параметри и точностни показатели на сложни пластмасови изделия чрез виртуални прототипи.
- Предложен е подход за бързо определяне на работни параметри при шприцване, който дава голяма степен на точност на виртуалният прототип, при които се отчитат основни фактори на влияние на процеса на запълване.
- Предложен е подход за намиране на адекватно решение за установяване на най-добра форма и размери на охлаждаща система, което води до минимален брой итерационни симулации.

7.2. Приложни приноси

- Установено е, че определянето на броя на входове (точки на пълнене) на стопилката и тяхното позициониране в геометрията на формообразуващите вложки е много важно за намаляване процента дефектност и е много важно да се осъществи максимално рано в процеса на развитие на инструмента.

- Доказано е количествено чрез виртуален експеримент, че при зададени еднакви процесни параметри, конформните охладителни системи показват по-добри резултати от конвенционалните по отношение на ефективност на охладителната система, температури след процес на пълнене и охлаждане, деформации и процент дефектност.

- С помощта на реален индустриален тестов пример е представен анализ на възможностите за виртуално прототипиране при изследване процеса на шприцване на инструмент със сложна форма, с цел избягване дефектите на изделиято, както и оптимизиране геометрията при шприцване на такъв модел.

- Експериментално е доказано възможно получаване на невярна картина на свиването за монолитна рамка на очила от предварителен тестов формообразуващ инструмент, с цел валидация на специфична геометрия „еластична панта“, показват значително несъответствие между виртуалните симулации и реалните измервания от физически изработената рамка в случаи на нетипично течение през малки сечения.

- Обоснована е необходимостта от планиране и осъществяване на предварително прототипиране на формообразуващия инструмент за валидация на процеса и геометрията на изделиято чрез изработването на „мек“ инструмент поради невъзможност за висока достоверност в придвижване на поведението на материала в частни случаи на специфична геометрия.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД SCOPUS

Todorov, T., G. Todorov, B. Romanov, Design and simulation of mould tools with multi-material structure for plastic injection moulding based on Additive Technology, 2019 International Conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth, CreBUS, Sandanski 2019

Публикации в списания и конференции

Todorov, T., G. Todorov, Assessment of Accuracy and Precision of a Complex Polymer Component, 2019 29th International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2019

Тодоров, Г., Ц. Караянчева, Т. Тодоров, Б. Романов, Възможности за моделиране на конформна охладителна система на шприц форми, изградена с адитивна технология, сп. „Машиностроене и Електротехника“, брой 10-11/2017

Тодоров. Т, Оптимизация на технологичен процес за производство на двукомпонентен детайл със сложна форма, сп. „Машиностроене и Електротехника“, брой 10/2021

SUMMARY

DESIGN AND SIMULATION OF MOULD TOOLS WITH A VIRTUAL PROTOTYPE

MEng. Todor Todorov

Presented work is in the field of optimization analyzes of complex geometry plastic parts, based on virtual simulations of injection molding processes.

Specific methods and approaches for increasing the quality in order to avoid defects of the end products are proposed, which are used to expand the areas of application.

A methodological sequence for predicting and optimizing the process parameters and accuracy of complex plastic products through virtual prototypes has been developed. The proposed approach shows significant opportunities for deformation control through proper selection of process parameters.

An approach for rapid determination of operating parameters in injection molding is proposed, which gives a high degree of accuracy of the virtual prototype, which takes into account the main factors influencing the filling process.

A comparative study of conformal and conventional cooling channel technologies is provided to determine the influence of different cooling systems in complex plastic parts. An approach is 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.

As a result of the developed methodology for reducing the risk of defects in the injection molded part, it is successfully implemented and used in the development of new products by Arexim Engineering EAD. Most of the researches were performed in the laboratory "CAD/CAM/CAE in Industry" and "3D creativity and Rapid prototyping" at R&D&I consortium (Sofia TechPark).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът изказва специални благодарности на:

На екипите и ръководствата на лабораторията „CAD/CAM/CAE в индустрията“, МТФ при ТУ-София, чието оборудване бе използвано при редица изследвания, описани в дисертационния труд;

На индустриалния партньор „Арексим Инженеринг“ ЕАД, по чиито проекти бяха направени част от внедряванията;

На „Национален център за мехатроника и чисти технологии“, създаден по договор No BG05M2OP001-1.001-0008, за възможността да се ползва наличното специализирано оборудване;

На научните ми ръководители проф. дн Георги Димитров Тодоров и доц. Костантин Христов Камберов за безценните съвети и съдействие по време на оформянето на дисертационния труд

На моите близки и приятели, които ми оказваха подкрепа за завършването на труда.