



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**  
**ФАКУЛТЕТ ПО ИНДУСТРИАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ**  
**Катедра “Материалознание и технология на**  
**материалите”**

**Маг. инж. Иван Стефанов Иванов**

**БЪРЗО ИЗГРАЖДАНЕ И ВАЛИДИРАНЕ НА**  
**КАЧЕСТВЕНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ФОРМООБРАЗУВАЩИ**  
**ИНСТРУМЕНТИ**

**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: 02.01.18 „Технологии, машини и системи за леярското производство“

**Научен ръководител:**

**проф. дн. инж. Георги Тодоров, чл.-кор.**

**доц. д-р инж. Петър Добрев**

СОФИЯ, 2025 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Материалознание и технология на материалите“ към „Факултет по индустриални технологии“ на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 04.02.2025 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 10.04.2025, от 15.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ 5.1-25/14.02.2025 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

чл.-кор. проф. дн инж. Георги Димитров Тодоров – председател;  
доц. д-р инж. Явор Петров Софронов– научен секретар;  
проф. дтн. инж. Венцеслав Цветанов Тошков – член;  
проф. дн инж. Димитър Андонов Дичев – член;  
проф. д-р инж. Нели Стоянова Косева – член;

Резервни членове:

проф. д-р инж. Виктор Христов Анчев  
доц. д-р инж. Антонио Антонов Николов

Рецензенти:

проф. дтн. инж. Венцеслав Цветанов Тошков  
доц. д-р инж. Явор Петров Софронов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет по индустриални технологии на ТУ-София, блок №3, кабинет № 3230.

Дисертантът е задочен докторант към катедра “Материалознание и технология на материалите” на „Факултет по индустриални технологии“. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Иван Стефанов Иванов

Заглавие: Бързо изграждане и валидиране на качествените показатели на формообразуващи инструменти

Тираж: 30 броя

# **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

---

## **Актуалност на проблема**

Дисертационният труд е насочен в областта на съвременното машиностроене, като фокусна работата е приложимостта на технологиите за производство на формообразуващи инструменти.

Предложена е стратегия, чрез която могат да бъдат решени разнообразни казуси, относно прилагането на бързи формообразуващи инструменти в индустрията.

## **Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване**

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

Целта на работата е да се създаде стратегия и да се разработи методология за проектиране и производство на бързи формообразуващи инструменти, изработвани чрез конвенционални технологии, и практическото им апробиране в релевантни производствени условия.

От поставената цел произтичат **следните задачи** на настоящата работа:

1. Да се систематизират и оценят факторите, влияещи на производството и използването на бързи формообразуващи инструменти.
2. Да се направи технически и икономически анализ на конвенционалните и конкурентните им специални методи за производство на бързи формообразуващи инструменти.
3. Да се разработи стратегия за анализ на жизнения цикъл на бързи формообразуващи инструменти.
4. Да се разработи иновативен подход при проектиране, конструиране и производство на бързи формообразуващи инструменти, изработвани чрез конвенционални технологии.
5. Да се изготви методология за проектиране и производство на бързи формообразуващи инструменти, изработвани чрез конвенционални технологии.
6. Да се апробира стратегията и методологията за проектиране, изработване и прилагане в индустрията на бързи формообразуващи инструменти чрез приложни практически решения и технико-икономическа оценка на примерите.

## **Научна новост**

Предложени са и са апробирани иновативна стратегия и методология за проектиране и производство на бързи формообразуващи инструменти в индустрията.

Предложени са методи за оценка на приложимостта на материалите, използвани в областта на формообразуващите инструменти.

Анализирани са наличните и са предложени конструктивни решения, относно елементи и конструкции с цел прилагането им в бързи формообразуващи инструменти.

## **Практическа приложимост**

Доказано е, че бързите инструменти, изработвани чрез конвенционални технологии, са икономически изгодни и могат да конкурират успешно инструментите, изработвани чрез разглежданите алтернативни методи.

Извършена е икономическа оценка и са изведени правила за прилагането на инструменталните материали за изработване на формообразуващите елементи за бързи формообразуващи инструменти.

В съответствие с разработената стратегия и методология за бързи формообразуващи инструменти е проектиран и е изработен реален универсален инструмент със сменяеми формообразуващи детайли.

Разработена е методология за използване на гореспоменатия инструмент. Методологията за работа с него е апробирана в производствени условия.

Направена е систематизация и са изведени правила относно прилагането на бързи формообразуващи инструменти, изработвани с конвенционални методи.

### **Апробация**

Изследванията по дисертацията са извършени в лабораториите “CAD/CAM/CAE в индустрията” към ФИТ на ТУ-София и “3D Креативност и бързо прототипиране“ към СНИРД, като част от изследванията са осъществени при работата по съвместни индустриални проекти с „Арексим инженеринг“ АД. Част от резултатите от изследванията са внедрени и се ползват при развитието на нови продукти на „Арексим инженеринг“ АД. Използван е опит в областта на инструменталната екипировка и от фирма „Солтоформ ЕООД“

### **Публикации**

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 5 научни публикации, като 1 е самостоятелна.

### **Структура и обем на дисертационния труд**

Дисертационният труд е в обем от **171** страници, като включва увод, **7** глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **167** литературни източници, като **15** са на кирилица и **137** на латиница, а останалите **15** са интернет адреси. Работата включва общо **117** фигури и **54** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

## II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

---

### 1 ГЛАВА: ЛИТЕРАТУРНО ПРОУЧВАНЕ. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

#### ВЪВЕДЕНИЕ

От края на двадесети век до днес техниката е получила ново качествено развитие. Същевременно времето за проектиране и въвеждане на изделието в производство и на пазара драстично се намалява. Възможно е да се изготвят, изпробват и оценят виртуално голям брой решения, без да се правят разходи за реални тестове. Развитието на техниката за бързо прототипиране също дава своя принос. Закономерно с това е развито и производството на формообразуваща инструментална екипировка [6], [7]. Като основни принципи и методи конструкциите на инструментите не са претърпели голяма „еволуция“. Въпреки всичко, дори и в една такава „консервативна“ област, като инструменталното производство, са настъпили промени и са се появили нови перспективни възможности. Една от тях е направлението за изработване на бързи формообразуващи инструменти (Rapid tooling, RT, БФИ), тема, която е разгледана в настоящата работа.

#### 1.1 Приложения на технологията „Rapid tooling“

Тя намира приложение в нишата между методите за бързо прототипиране (Rapid prototyping, RP) и серийното производство, като в редица случаи се застъпва и конкурира с тях. А в други случаи тя ги допълва. Типични приложения на технологията са:

- При процеса прототипиране и пробна серия да се валидират техническите характеристики на изделието.
- Необходимост да се валидира процеса.
- Необходимост от производството на малки серии от детайли.
- Необходимост да се оцени пазара при внедряване на ново изделие
- Необходимост да се излезе на пазара с бързо решение, което изпреварва конкуренцията.

#### 1.2 Методи за изработване на инструментална екипировка от типа бързи формообразуващи инструменти

Като цяло в проучената литература на първо място за класификация се налага критерия, при който те се класифицират според организацията на процеса и подхода при изготвяне на самите формообразуващи [13], [19], [20], [21]. Според него те могат да се сведат до две широки категории [8]. Едната категория включва косвени (индиректни) подходи, които използват модели (позитиви), изградени чрез бързо прототипиране (RP), чрез които се произвеждат формообразуващите детайли на инструмента (негативи). Другата категория е директен подход – директни (преки) методи, при които формообразуващите детайли се изработват чрез разнообразни високотехнологични методи, без да се изработва позитивен модел.

Друг критерий за класификация е от гледна точка на използваните технологични процеси за изработване на формообразуващите. Според него методите за бързо изработване на инструменти (RT) могат да се разделят на три подтипа:

**Методи чрез репликация.** В този случай детайлите, които дефинират геометрията, се „отпечатват“ по дадена технология във формообразуващите

**Методи чрез отнемане на материал.** Тук се включват всички методи, при които се започва изработването на формообразуващите елементи на инструмента от първоначална заготовка.

**Методи с добавяне на материал.** В този случай формообразуващите детайли се получават, като се изграждат директно от добавъчен материал или върху предварително изработена основа се добавя материал.

#### 1.3 Изводи

1. В бъдеще серийните инструменти, чиито формообразуващи са изработени чрез конвенционални методи, ще продължат да са основни в серийното и масовото производство [2].
2. Развитието на бързите формообразуващи инструменти се подпомага от бързото развитие на съвременните технологии.
3. От анализа на събраната информация се вижда, че в областта на бързите формообразуващи инструменти, изработени посредством конвенционалните методи, липсва систематизирана информация, която да се използва с необходимата ефективност от фирмите в промишлеността.

4. Наблюдава се необходимост от систематизация на дейностите в областта на производството на бързи формообразуващи инструменти.
5. Липсва информация за установяване на границата на ефективност при избор между конвенционални и специални методи за изработване на бързи формообразуващи инструменти.

## 2 ГЛАВА: СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА НА ФАКТОРИТЕ, КОИТО ВЛИЯТ НА ПРОИЗВОДСТВОТО И ИЗПОЛЗВАНЕТО НА БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ

Инструментите, класифицирани като бързи формообразуващи инструменти, се използват за решаване на разнообразни по тип и обем задачи. Тези задачи не могат да се решат с конвенционални инструменти или чрез методи за директно бързо прототипиране.

### 2.1 Класификация и подразделяне на инструменталната екипировка от типа бързи формообразуващи инструменти

Класификацията на този тип инструменти в много случаи е условна [2], [3], [13], [7], [92]. Това е така, защото характеристиките на даден инструмент могат да попаднат в обхвата на няколко критерия.

Като начало, класификация може да бъде направена според начина, чрез който се изработват формообразуващите елементи. Това на практика бе разгледано и описано в предходните точки.

От гледна точка на приложението на инструмента могат да се разгледа следната класификация

#### 2.1.1 Инструменти за осигуряване на ограничен обем детайли

При инструментите за осигуряване на ограничено количество детайли се осигурява ограничен обем от детайли, необходим за решаване на проекта. Според обема (типа) на производството, от своя страна те могат да се обособят в следните подкласове - за единично, дребносериенно и серийно производство

Броят на циклите, за които е предвиден инструментът, е основният критерий и база за прилагане на конструктивно-технологичните решения при създаването на инструмента. Инструментите за осигуряване на ограничено количество детайли могат да се класифицират на:

- Инструменти за прототипно производство
- Инструменти за дребносериенно производство
- Инструменти за серийно производство

#### 2.1.2 Тестови инструменти(инструменти за валидация)

Тестовите инструменти се характеризират с опростена конструкция [13]. Важно в случая е да се оценят изследваните параметри на инструмента и да се проектират така, че полученият резултат да има подобие на този, който се оценява.

### 2.2 Технически предпоставки за прилагане на бързи формообразуващи инструменти

В практиката един бърз формообразуващ инструмент може да бъде използван за една или комбинация от няколко цели [8], [10], [13]. Самите цели могат да променят предназначението на инструмента, независимо от особеностите на конструкцията му. В Таблица 2.1 са представени критериите, на чиято база се обосновава и организира прилагането на технологията за БФИ.

**Таблица 2.1 Критерии за прилагане на бързи формообразуващи инструменти**

N	Област на приложение на БФИ	Критерий за приложението на инструмента			Класификация на инструмента	
		Инструмент	Детайл	Процес	Според приложение	Според обема на производство
1	Валидиране на техническите характеристики на изделието	Ниска цена.	Качествени показатели	Ниска цена	Тестов	Единично
2	Валидиране на процеса и/или инструмента	Качествени показатели	Ниска цена	Качествени показатели	Тестов	Единично
3	Развиване и усъвършенстване на изделието	Ниска цена	Ниска цена	Ниска цена	За огран. обем детайли	Единично
4	Производство на малки серии от детайли	Ниска цена	Ниска цена	Ниска цена	За огран. обем детайли	Дребносериенно
5	Излизане на пазара с бързо решение, което изпреварва конкуренцията	Ниска цена	Качествени показатели	Ниска цена	За огран. обем детайли	Серийно
6	Оценка на пазара, относно въвеждане на ново изделие	Ниска цена	Ниска цена	Ниска цена	За огран. обем детайли	Дребносериенно/ Серийно

#### 2.3 Икономически фактори при прилагане на бърз инструмент в индустрията

Формообразуващите инструменти се класифицират като технологична екипировка. Тяхната

конструкция е специфична и е обвързана с конструкцията на изделието и характера на технологичния процес.

### 2.3.1 Ценообразуване на изделие/ детайл, произведено с формообразуващи инструменти

Технологичната себестойност  $C_T$  [лв.] за един детайл е сумата на всички разходи за производството му [93], [97], [98].  $C_T = P_M + P_n + P_{ие}$ , където:  $P_M$  [лв.] - разходи за материал,  $P_n$  [лв.] - разходи за производство на изделието,  $P_{ие}$  [лв.] - разходи за инструменти, екипировка и др.

### 2.3.2 Ценообразуване при проектиране и производство на формообразуващи инструменти

Ценообразуването на инструмента е аналогично на това при основното изделие (произвеждания детайл) [99], [100], [101]. Индикативно разпределение на разходите, които формират себестойността, е показано в Таблица 2.2.

**Таблица 2.2 Разпределение на разходите, формиращи себестойността на инструмента. Цена на инструмента**

	Разходи	Дял от себестойността като част от базата
1.	РАЗХОДИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ	
2.	ОСНОВНИ МАТЕРИАЛИ	
3.	ЗАПЛАТИ НА ОСНОВНИТЕ РАБОТНИЦИ	
3.1.	ОСНОВНА ЗАПЛАТА	
3.1.1.	ЗАПЛАТА ПО ТЕХНОЛОГИЯ	БАЗА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЯ
3.1.2.	ДОПЪЛНИТЕЛНА ЗАПЛАТА	6%
3.2.	ДОПЛАЩАНЕ ПО КТ И КТД	22%
4.	ДОО, ПКБ И ЗО	30%
5.	ОБЩОЦЕХОВИ РАЗХОДИ	
5.1.	АМОРТИЗАЦИИ	42%
5.2.	РЕМОНТ И ПОДДРЪЖКА НА ОБОРУДВАНЕТО	10%
5.3.	ДРЕБНОРЕЖЕЩ И ДРУГ ИНСТРУМЕНТ	25%
5.4.	ЕЛ. ЕНЕРГИЯ И ГАЗ	12%
5.5.	ЗАПЛАТИ, ДОО, ПКБ, ЗАО НА СПОМ. РАБОТНИЦИ	15%
6.	ЦЕХОВА СЕБЕСТОЙНОСТ	3+4+5
7.	ОБЩИ РАЗХОДИ НА ПРЕДПРИЯТИЕТО	80%
8.	СЕБЕСТОЙНОСТ	1+2+6+7
9.	ПЕЧАЛБА	
10.	Цена на инструмента	8+9

## 2.4 Изводи

- При бързите формообразуващи инструменти е възможно да се приложи стратегия, основаваща се на по-голяма сигурност на изпълнение, и да се използва по-голяма от необходимото машина. Това гарантира по-големи възможности за реализация на процеса, за сметка на по-висока цена на тестовите и на самото производство. С оглед на малките по обем партии, това оскъпяване на практика е незначително.

- Цената на материала също не е съществен фактор при ценообразуването. Важен елемент е възможността да се достави минимално количество материал.

- Автоматизацията на процеса не винаги е удачна. С оглед на малките партии/серии не е изгодно настройването и поднастройването на допълнителни периферни устройства.

- Ценообразуването при бързите формообразуващи инструменти е удачно да се разглежда за целия проект.

## 3 ГЛАВА: ТЕХНИЧЕСКИ И ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА КОНВЕНЦИОНАЛНИТЕ И КОНКУРЕНТНИТЕ ИМ СПЕЦИАЛНИ МЕТОДИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ

**Сравнение на основните характеристики на методите за производство на БФИ.** Основна цел е сравнение на специалните методи и конвенционалните, като се определят насоки за приложението на последните в производството на БФИ.

### 3.1 Методологична последователност

- Предварителна оценка на влиянието на използването на адитивни и конвенционални методи върху конструкцията на формообразуващите елементи при реален случай.

- Икономическа съпоставка на базата на реален случай на използване на конвенционалните и адитивните методи за производство на БФИ.

- Оценка и препоръки при използването на конвенционалните и адитивните методи за производство на БФИ.

### 3.2 Конструкция на формообразуващите

На Фигура 3.1 са представени характерни подходи при проектиране на формообразуващите, съобразно използваните за производство технологии.

#### Материал за вложките

За целта са подбрани следните материали:

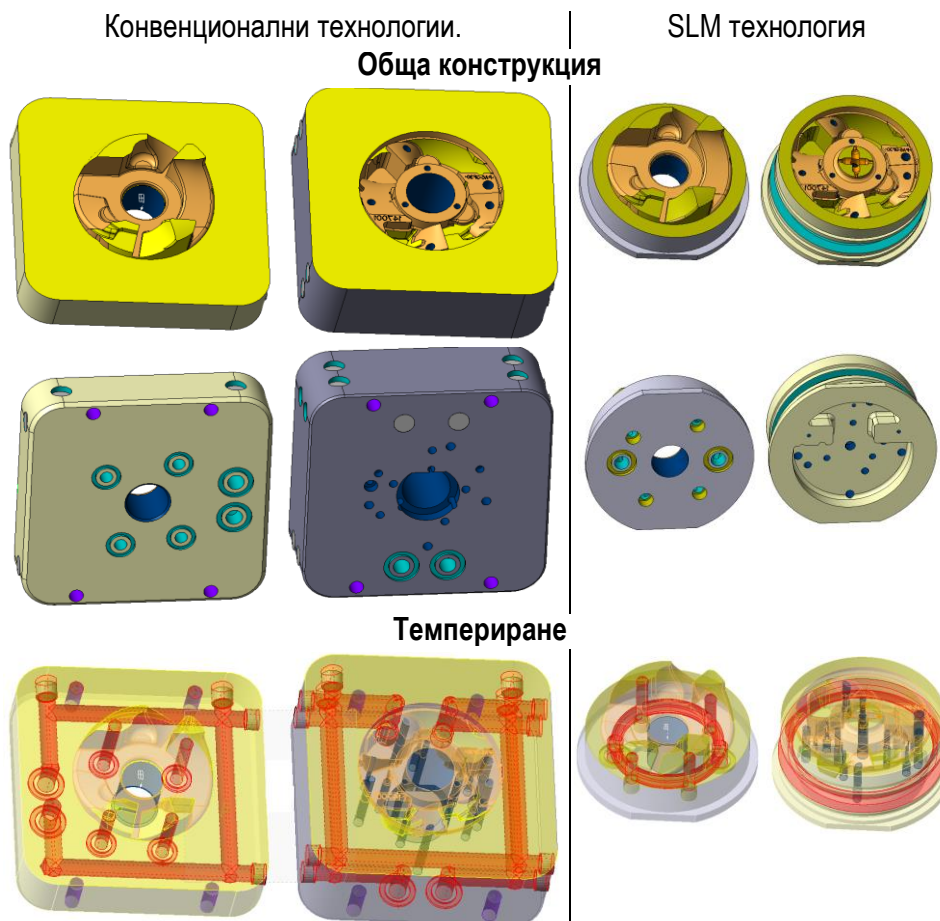
- Вложките, изработени чрез адитивни технологии, са от стомана 1.2709 (X3NiCoMoTi18-9-5), като са налични два подварианта – със и без термообработка.

- За вложките, изработени чрез конвенционални методи, са разгледани варианти, които кореспондират с няколко класа инструментална екипировка:

алуминиева сплав EW-7075 (3.4365, AlZnMgCu1,5). Инструментът е тип „алуминиеви инструменти“.

стомана 1.2311 (40CrMnMo7), с твърдост HRC 28-30. Инструментът е с ниска предварителна твърдост, което кореспондира с т.н. „меки“ инструменти.

стомана 1.2343 (X 37 CrMoV 5-1) с твърдост HRC 46-48 (закаляване след предварителна обработка). Характеристиките на инструмента го поставят в клас „Серийни инструменти“.



Фигура 3.1 Подходи при проектиране на основна формообразуваща вложка. Конвенционален инструмент и бърз инструмент

### 3.3 Техничко-икономическо сравнение на детайли за формообразуваща инструментална екипировка, изработени чрез RP технология ( SLM ) и такива изработени чрез конвенционални методи.

За формообразуващите елементи в Точка 3.2 са сравнени няколко варианта на материала, от който се изработват, както и твърдостта му. Тези комбинации кореспондират с избраните технологични процеси. Резултатите от отделните анализи са представени според основните критерии за сравнение в Таблица 3.6.



**Таблица 3.6 Анализ на резултатите**

Поз.	Тип инструмент	Формообразуване		Живот	Технология за изработване на форм.	Цена ПН	Време за изработване ПН	Цена ПП	Време за изработване ПП	Цена комплект *	Време за изработване комплект**	
		Материал	Твърдост								ч	раб. дни***
			HRC	бр. цикли		лв.	ч	лв.	ч	лв.	ч	раб. дни***
1	Сериен	1.2343	46-48	2000000	конвенционална	2077лв	28,5ч	3752лв	40,6ч	5992лв	82,6ч	9
2	Сериен	1.2311	28-38	200000	конвенционална	1603лв	25,9ч	2463лв	40,3ч	5109лв	79,6ч	8,5
3	Бърз	7075	-	5000	конвенционална	1149лв	18ч	1809лв	25,8ч	4002лв	60ч	6,5
4	Сериен	1.2709	45-48	1000000	SLM + конвенц.	3408лв	41,1ч	8264лв	96,9ч	12715лв	151,5ч	9,5
5	Сериен	1.2709	-	100000	SLM + конвенц.	2989лв	37,1ч	7627лв	92,6ч	11659лв	143,1ч	10

\* включително цената за изработване на електрод за ПП - 1043лв, \*\* включително времето за изработване на електрод за ПП - 13,5ч  
 \*\*\* експертна оценка на базата на общите часове за изработване, като се има предвид общото натоварване в цеха, възможността да се организират паралелно някои операции, работа на две смени

### 3.4 Изводи

На база на направеното проучване могат да се направят следните изводи:

- Конвенционалните методи също могат да се използват за изработване на инструментална екипировка от типа БФИ. Инструментите, произведени чрез конвенционални методи, имат редица предимства пред тези, които са изработени чрез адитивни методи. В конкретните случаи на приложение могат да се използват, като с това се постига икономическа ефективност и адекватен отговор на пазара.

- Не е налична пълна информация и методология за изработването на инструментална екипировка от типа БФИ чрез конвенционални методи. Поради това е необходимо да се направи технико-икономическа оценка на материалите и технологиите, използвани за изработването на формообразуващите елементи на изследваната инструментална екипировка.

- Фирмите производители на формообразуваща инструментална екипировка разполагат с подходящо оборудване, за да произвеждат инструментална екипировка от типа БФИ, и при разработена методика могат да го правят успешно. Поради това е необходимо да се изготви стратегия и методология за случаите на прилагане на инструменталната екипировка от типа БФИ, изработена, чрез конвенционални методи.

- В областта на правилата и методологиите за проектиране на инструментална екипировка, произвеждана чрез адитивни технологии, има възможности за нови разработки и допълнения.

## 4 ГЛАВА: СТРАТЕГИЯ ЗА АНАЛИЗ НА ЖИЗНЕНИЯ ЦИКЪЛ НА БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ

### 4.1 Обща концепция

Според типа на изследвания критерий стратегията може да има няколко направления. Като цяло те подлежат на систематизация и в резултат на това е възможно да бъдат изведени правила приложими в практиката.

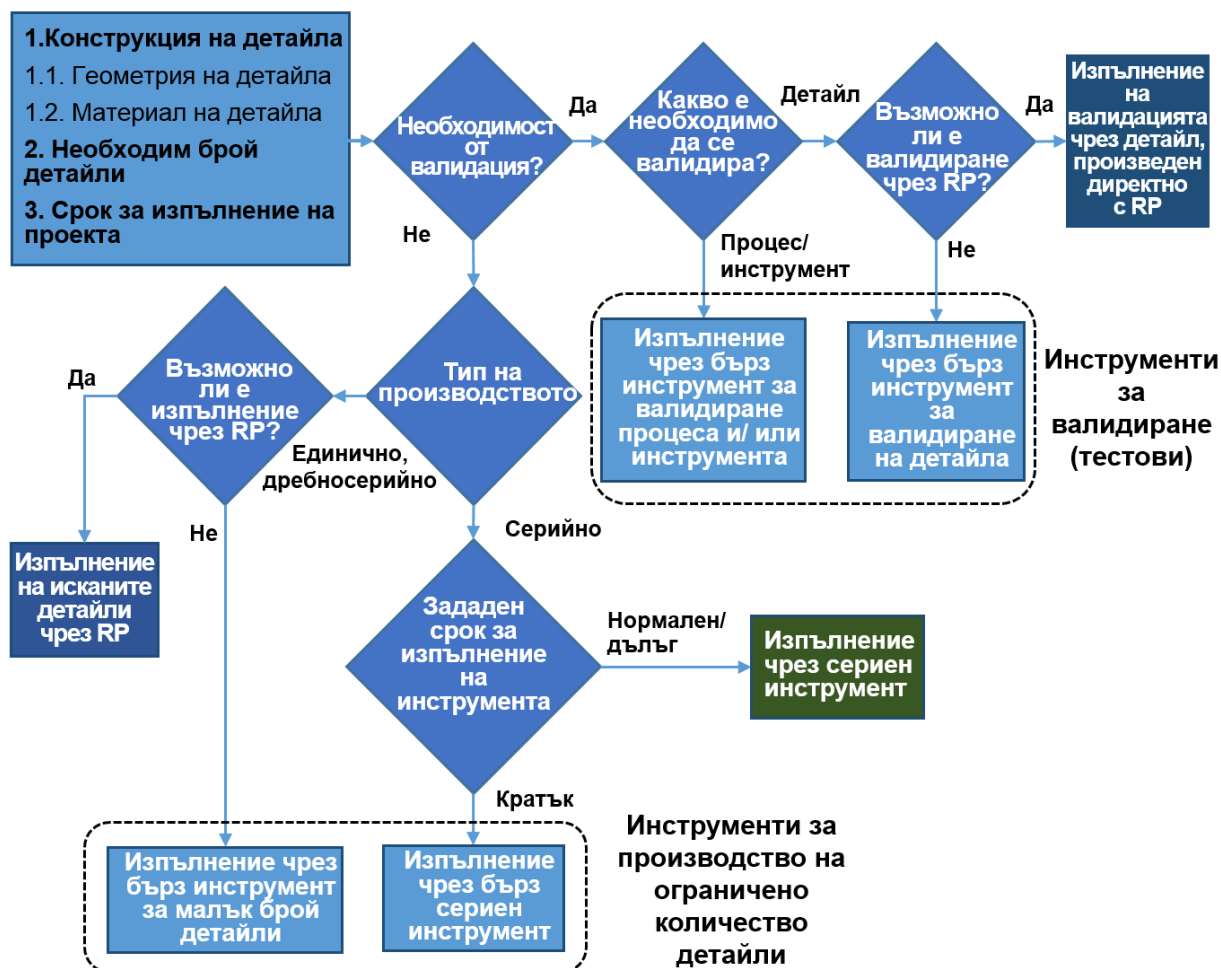
### 4.2 Обособяване на стратегия за анализ в индустрията на жизнения цикъл на бързи формообразуващи инструменти

#### 4.2.1 Оценка на критериите

В литературата [115], [116], [117], [118], [119], [120] подходите при използване на БФИ са описани достатъчно подробно. Следва да се уточни, че в повечето случаи са разгледани главно инструменти, получени чрез адитивни технологии [120], [121]. Подходът при БФИ, изработвани чрез конвенционални технологии, е аналогичен, като се отчетат особеностите на технологията.

#### 4.2.2 Стратегия за анализ на бърз инструмент в индустрията

Разработената стратегия за анализ на бърз инструмент в индустрията е представена на Фигура 4.1.



**Фигура 4.1** Стратегия за реализация на бърз инструмент в индустрията

Стратегията дава четири направления за приложение на БФИ – за валидиране на конструкцията на изделието, за валидиране на процеса и инструмента, за производство на малък брой детайли и за бърз серийен инструмент. Поради на практика еднаквия подход при работа, последните две направления в стратегията са обединени като инструменти за производство на ограничено количество детайли, а първите две като инструменти за валидация. Самите дейности по прилагането са разгледани подробно, като отделни стратегии. Те са част от основната, като също не разглеждат процеса на валидиране на самото изделие. Процесът по този начин се свежда **само до мероприятията относно инструмента**.

### 4.3 Стратегии, прилагани при валидация на технически и икономически решения относно конструкцията и производството на детайла

Основната цел е чрез бърз, тестови инструмент да се валидира конструкцията на изделието, процеса на производство на изделието и технически решения относно основния (серийния) инструмент [122], [123]. Изброените критерии могат също така да се комбинират.

#### 4.3.1 Валидиране конструкцията на изделието

Много често при изготвяне на опитните прототипи и пробната серия на дадено изделие се използват детайли, изработени чрез RT технологии. Блок-схема на стратегията за валидиране на конструкцията на изделието чрез RT, е представена на Фигура 4.2.

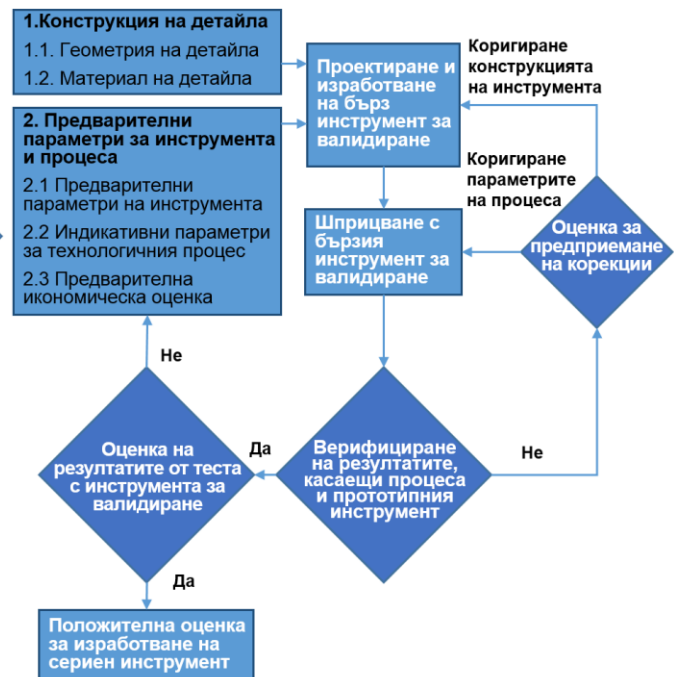
#### 4.3.2 Валидиране на конструкцията на инструмента и процеса на производство на изделието

В този случай търсените критерии са конструкцията на инструмента и процеса на производство на детайла. Те са взаимосвързани и затова се разглеждат общо.

Блок схема на валидирането на конструкцията на инструмента и процеса на производство на изделието е представено на Фигура 4.3.



Фигура 4.2 Стратегия при валидиране на конструкцията на изделието чрез бързи формообразуващи инструменти.



Фигура 4.3 Стратегия при валидиране на решения относно инструмента и технологичния процес на изделието чрез бързи формообразуващи инструменти

#### 4.4 Стратегии, прилагани при инструменти за производство на ограничено количество детайли

Основната разлика в сравнение с предишната точка е, че произведените детайли са напълно годни и отговарят на техническите изисквания [122], [124].

##### 4.4.1 Инструменти за малък брой детайли

Този тип инструменти се свеждат до инструменти за единично и такива дребносерийно производство.

**Инструменти за единично производство.** Те се използват за производството на единични бройки детайли. Не е задължително инструментът да бъде постоянен, възможни са различни варианти с еднократни форми

**Инструменти за дребносерийно производство.** Границата на трайност от 500/1000 цикъла е началото на прехода към възможностите за реализация на инструмента чрез конвенционални технологии.

##### 4.4.2 Инструменти за серийно производство

Съвременните технологии за производство на БФИ дават възможност да се изработят инструменти, които да удовлетворяват ценовото изискване за трайност в порядъка от 1000 до 100000 цикъла и повече [122]. В случая производството е серийно и могат условно да се разграничат няколко диапазона на трайност, при които се различава и начинът на работа и методите за производство на инструмента.

- до 1000 цикъла. В този случай се ползват инструменти, чиито бази са постоянни, а се сменят формообразуващите.

- до 10000 цикъла. В много случаи се използват инструменти с монолитни формообразуващи елементи (нямат носещи плочи - „каси“). Използването на универсални пакети със сменяеми вложки е също възможно и икономически ефективно.

- до 50000 цикъла. В този случай монолитните формообразуващи се използват пълноценно.

- 100000 и повече цикъла. В този случай инструментите са серийни (рядко масови). Критерият за да бъдат приравнени към БФИ е времето за изработване.

##### 4.4.3 Приложимост

Самото прилагане се извършва на базата на живота на инструмента, който се определя от необходимия брой детайли и времето за реализация на проекта. Това става на базата на използвания

материал за формообразуващите елементи и броя на гнездата. Също и на приетите технически решения.

#### 4.5 Изводи

- Прилагането на стратегията за проектиране и производство на БФИ може да съкрати времето за внедряване на екипировката за дадения проект. Както и да скъси времето на самия проект.
- При тестовите инструменти е важно предварително да бъде определена целта и да се следва до изпълнението и. В противен случай проектът ще се дискредитира и ще излезе извън рамките на предварителната цел, според която е класифициран като бърз.
- Серийните инструменти е изгодно основно да се изработват чрез конвенционални технологии.
- Относно инструментите за произвеждане на ограничено количество детайли липсва ясна методология за класифициране.

### 5 ГЛАВА: РАЗРАБОТВАНЕ НА ИНОВАТИВНИ ПОДХОДИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ, КОНСТРУИРАНЕ И ПРОИЗВОДСТВО НА БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ, ИЗРАБОТВАНИ ЧРЕЗ КОНВЕНЦИОНАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ

В разгледаните по-горе глави е набелязано, че конвенционалните методи имат достатъчно възможности за изработване на БФИ. Но самата реализация на инструмента като бърз не зависи само от прилаганите методи за изработване на инструментите. В голяма степен, за да стане това, е необходимо те да бъдат проектирани и конструирани като такива.

#### 5.1 Техничко-икономическа оценка на наличните на пазара материали, използвани за изработване на формообразуващи детайли. Избор на подходящи материали с цел прилагането им в бързи формообразуващи инструменти

Характеристиките на материала на формообразуващите елементи в голяма степен определят технологията на изработване на инструмента – реда и типа на технологичните операции, времената за обработка, необходимите режещи инструменти и консумативи. Това от своя страна е пряко свързано със себестойността на инструмента.

##### 5.1.1 Предпоставки за избор на материал за формообразуващите елементи на бързи формообразуващи инструменти, изработвани чрез конвенционални методи, от гледна точка на себестойността и живота на инструмента

В рамките на настоящия труд е направен анализ на използваните в инструменталното производство материали за изработване на формообразуващи елементи за инструменти, които могат да се класифицират като бързи.

##### Формиране на групи материали по технически характеристики

Разгледани са групите материали, които най-често се използват за производство на формообразуващите елементи на шприцформите [126], като основният критерий е животът на инструмента.

Характерно е, че животът на инструмента зависи от типа на материала, който се шприцва [127]. Пластмасата може да има характеристики, които да утежняват експлоатацията на формите и да ги подлагат на интензивно износване. Стъклонапълнените материали имат абразивни свойства и износват формата в критичните участъци. Самият живот е оценен експертно на базата на данните от източниците за всеки един материал, както и на опита на фирмите СПАРКИ ЕЛТОС АД, СОЛТОФОРМ ЕООД, Лаборатория ЗСLab, АНСА Борима.

**Алуминиеви сплави.** Тези сплави имат висока топлопроводност и добра обработваемост. Типичен представител е сплавта EN AW7075.

**Бронзови сплави.** Ползването им дава дълъг живот на инструмента. Най-добри характеристики притежават берилиевите бронзови сплави [131], [132]. Типичен представител е CuBe2. Цената на тези сплави е значителна

**Стомани с предварителна твърдост** [134], [135], [136]. Условно могат да се разделят на две подгрупи.

В първата група попадат стоманите 1.2311/1.2312, 1.2738(40 CrMnNiMo 8-6-4), 1.2316(X 38 CrMo

16), Toolox 33 и др. Тяхната твърдост е в порядъка 28-32 HRC, което дава характеристиките на серийен инструмент със средна продължителност на живота.

Втората група е от стомани с твърдост в порядъка 33-45 HRC. Такива материали са Toolox 44 [137], 1.2714HH(55 NiCrMoV 7) [138], 1.2738TSHH [139] и др. Освен бързи, от тях могат да се изработват и инструменти за серийно производство с много високи характеристики.

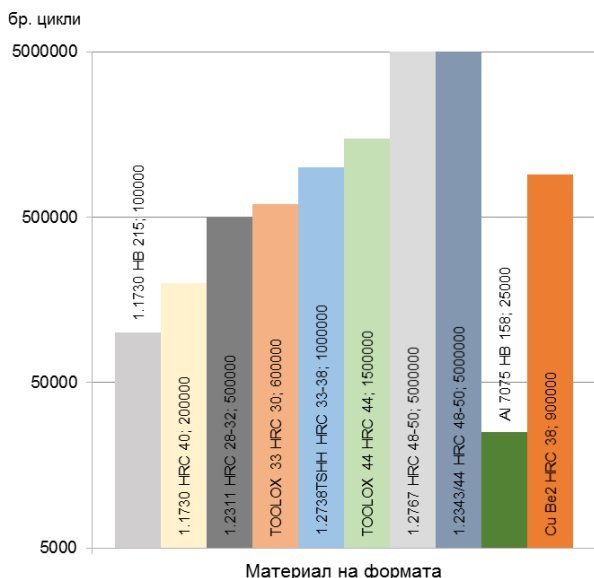
**Инструментални стомани, които се закаляват в процеса на изработване на инструмента.** Това са стомани, които се подлагат на термообработка в процеса на изработване на инструмента [134], [126]. Те са основните материали за серийните инструменти. Типични представители са 1.2343, 1.2767(45 NiCrMo16) и др.

Нетрадиционни за целта, но използвани в дадени случаи материали:

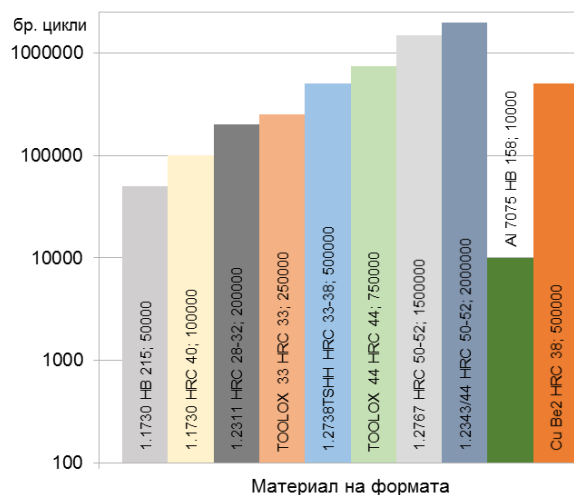
**Въглеродни стомани.** Допускат се при детайли, за които няма изисквания за външен вид. В инструменталното производство често срещана е стоманата 1.1730(C 45 U).

**Незакалени стомани от различен тип.** В тази група могат да се причислят незакалени инструментални стомани за формообразуващи елементи, в случаи когато е необходимо повърхнините на формообразуването да бъдат полирани - 1.2767 или има изискване за корозионна устойчивост на инструмента - 1.2085(X 40 Cr 14).

С цел да бъдат анализирани, от всяка група са подбрани характерни материали. За тях на посочените по-долу фигури е сравнен животът на инструмента. Разгледани са 2 типични случая на материала, от който се изработва пластмасовото изделие - чист полимер – PA (Фигура 5.1) и стъклонапълнен - PA6-GF30 (Фигура 5.2).



**Фигура 5.1 Живот на формообразуващите imax шприцван материал – PA**



**Фигура 5.2 Живот на формообразуващите imax за шприцван материал - PA6-GF30**

Себестойност на материала в дадения проект.

Цена за единица тегло -  $C_m$ (лв./kg), цена за термообработка на формата –  $C_{то}$ (лв./kg). Общата цена за единица  $C_{\Sigma} = C_m + C_{то}$

$C = C_{\Sigma} * m$ , където  $C$ (лв.) е себестойността за придобиване на даденото количество материал, необходимо за изработване на формата.

$C_v = C_{\Sigma} * p$  -  $C_v$  (обемна цена) е цената за единица обем. Той дава представа само за първоначалните разходи за самия инструмент. На практика, чрез него се дава отговора от кой материал е **най-евтино** да се **изработят** формообразуващите елементи.

**Критерий за оценка на приложението на материала за дадения проект**

За пълна икономическа оценка е необходимо да се отчете броят на детайлите, предвидени за изработване с инструмента в рамките на разглеждания проект. В настоящия труд тази величина е въведена като  $C_{vi}$  (лв./dm<sup>3</sup>/цикъл) и за по-кратко е наречена „Обемна цена за цикъл“.

$C_{vi} = C_v / i$ , където  $i$ (бр. цикли) е предвиденият брой цикли за инструмента при решаване на конкретната задача

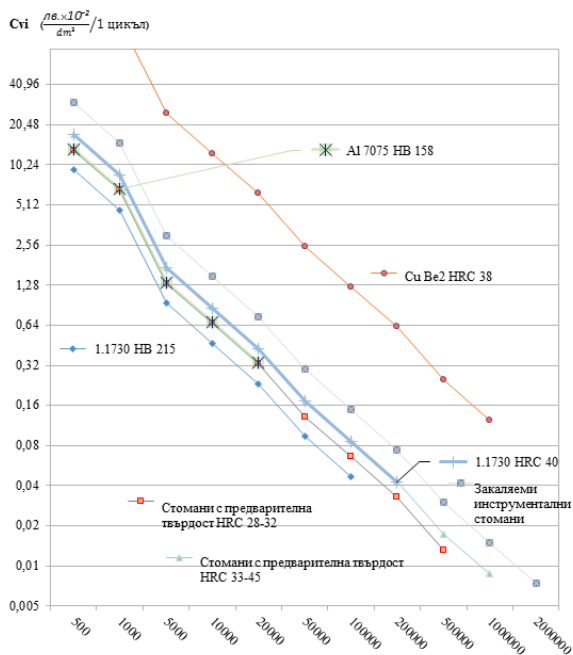
В Таблица 5.4 е направено сравнение при различен брой планирани цикли.

Таблица 5.4 Икономически параметри при планиран живот на формите

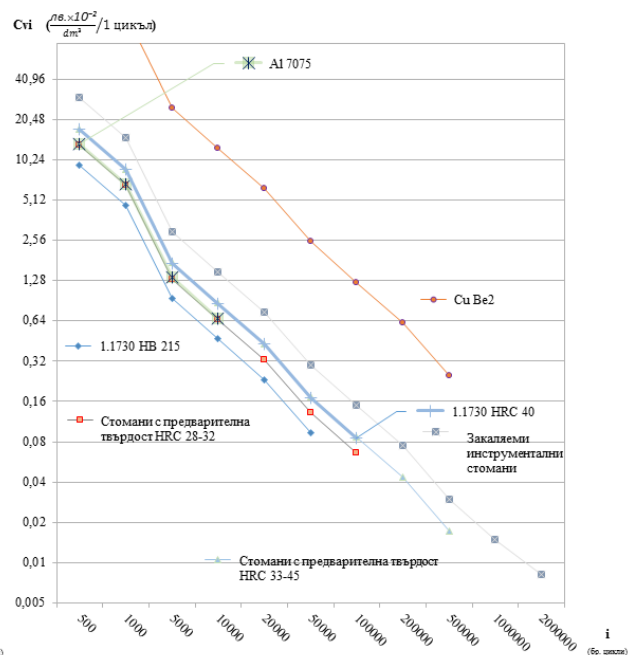
Група материали	Материал на формата	Твърдост на формата	Цена за единица обем C <sub>v</sub>	Обемна цена за цикъл (при зададена програма на изделието) C <sub>vi</sub>										
				$\frac{лв. \times 10^{-2}}{дм^3 / 1 \text{ цикъл}}$										
	Планиран живот на инструмента (бр. цикли)	500	1000	5000	10000	20000	50000	100000	200000	500000	1000000	2000000		
<b>Шприцван материал PA6</b>														
<b>Въглеродна стомана</b>														
1	1.1730	(215)	46,8	9,4	4,7	0,94	0,47	0,23	0,09	0,047				
	1.1730	40	85,8	17,2	8,6	1,72	0,86	0,43	0,17	0,086	0,043			
<b>Стомани с предварителна твърдост HRC 28-32</b>														
2	1.2311	28-32	60,8	12,2	6,1	1,22	0,61	0,30	0,12	0,061	0,030	0,012		
	TOOLOX 33	30	70,7	14,1	7,1	1,41	0,71	0,35	0,14	0,071	0,035	0,014		
	средно за класът			13,2	6,6	1,32	0,66	0,33	0,13	0,066	0,033	0,013		
<b>Стомани с предварителна твърдост HRC 33-45</b>														
3	1.2738TSHH	33-38	84,2	16,9	8,4	1,68	0,84	0,42	0,17	0,084	0,042	0,017	0,0084	
	TOOLOX 44	44	89,4	17,9	8,9	1,79	0,89	0,45	0,18	0,089	0,045	0,018	0,0089	
	средно за класът			17,4	8,7	1,74	0,87	0,43	0,17	0,087	0,043	0,017	0,0087	
<b>Закаляеми инструментални стомани</b>														
4	1.2767	48-50	135,7	27,1	13,6	2,71	1,36	0,68	0,27	0,14	0,068	0,027	0,014	0,0068
	1.2343/44	48-50	162,2	32,5	16,2	3,24	1,62	0,81	0,32	0,16	0,081	0,032	0,016	0,0081
	средно за класът			29,8	14,9	2,98	1,49	0,74	0,30	0,15	0,074	0,030	0,015	0,0074
<b>Други сплави</b>														
5	Al 7075	(158)	67,2	13,4	6,7	1,34	0,67	0,34						
	Cu Be2	38	1245	249,	124,5	24,9	12,45	6,23	2,49	1,25	0,62	0,25	0,12	
<b>Шприцван материал PA6-GF30</b>														
<b>Въглеродна стомана</b>														
1	1.1730	(215)	46,8	9,4	4,7	0,94	0,47	0,23	0,09					
	1.1730	40	85,8	17,2	8,6	1,7	0,86	0,43	0,17	0,086				
<b>Стомани с предварителна твърдост HRC 28-32</b>														
2	1.2311	28-32	60,8	12,2	6,1	1,22	0,61	0,30	0,12	0,061	0,030			
	TOOLOX 33	33	70,7	14,1	7,1	1,41	0,71	0,35	0,14	0,071	0,035			
	средно за класът			13,2	6,6	1,315	0,66	0,3	0,13	0,066	0,033			
<b>Стомани с предварителна твърдост HRC 33-45</b>														
3	1.2738TSHH	33-38	84,2	16,9	8,4	1,68	0,84	0,42	0,17	0,084	0,042	0,017		
	TOOLOX 44	44	89,4	17,9	8,9	1,79	0,89	0,45	0,18	0,089	0,045	0,018		
	средно за класът			17,4	8,7	1,74	0,87	0,4	0,17	0,087	0,043	0,017		
<b>Закаляеми инструментални стомани</b>														
4	1.2767	50-52	135,7	27,1	13,6	2,71	1,36	0,68	0,27	0,14	0,068	0,027	0,014	
	1.2343/44	50-52	162,2	32,5	16,2	3,24	1,62	0,81	0,32	0,16	0,081	0,032	0,016	0,0081
	средно за класът			29,8	14,9	2,98	1,49	0,74	0,30	0,15	0,074	0,030	0,015	0,0081
<b>Други сплави</b>														
5	Al 7075	(158)	67,2	13,4	6,7	1,34	0,67							
	Cu Be2	38	1245	249,0	124,5	24,9	12,45	6,23	2,49	1,25	0,62	0,25	0,12	

**АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ С ЦЕЛ ОЦЕНКА НА МАТЕРИАЛИТЕ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕТО ИМ В БЪРЗИ ФОРМОБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ**

На база на резултатите от Таблица 5.4 са създадени графики, представени на Фигура 5.5 и Фигура 5.6, изобразяващи връзката между C<sub>vi</sub> и живота на инструмента за разглежданите материали.



Фигура 5.5 Обемна цена за един цикъл - C<sub>vi</sub>. Шприцван материал - PA6



Фигура 5.6 Обемна цена за един цикъл - C<sub>vi</sub>. Шприцван материал PA-GF30

## Изводи

- Използването на въглеродни стомани в БФИ е нерентабилно, с оглед на малката разлика спрямо стоманите с предварителна твърдост 28-32 HRC.
- Използването на стомани, които се закаляват, на практика изключва инструмента от клас БФИ, както по икономически, така и по технически причини (главно срок на изпълнение).
- Берилиевите бронзи са икономически неизгодни, но могат да се използват за конкретни случаи с цел решаване на технически проблеми, които биха изисквали усложняване на конструкцията и удължаване на срока на проекта.
- За малки серии и в някои случаи за средни най-подходящи са алуминиевите сплави. Те имат аналогично  $C_{vi}$  като на стоманите с предварителна твърдост 28-32 HRC.
- Стоманите с предварителна твърдост могат да се използват в изключително широк диапазон от живота на инструмента. Заедно с алуминиевите сплави те са най-подходящи за формообразуващите елементи на БФИ, изработвани чрез конвенционални методи.

### 5.1.2 Предпоставки за избор на материал за изработване на формообразуващите елементи на бързи формообразуващи инструменти, според възможността за обработката им със съвременни металорежещи инструменти и машини

Основният процес, който се използва при конвенционалните методи, е фрезването във всичките му разновидности. От неговата ефективност на прилагане зависят както срокът на изпълнение, така и цената на изработване на инструменталната екипировка

#### ИЗБОР НА МАТЕРИАЛИ СПОРЕД ОБРАБОТВАЕМОСТТА ИМ

Изборът на групите материали е направен на базата на приложимостта на стоманите от т. 5.1.1., като се съобрази обстоятелството, че се използват за изработване на БФИ [136], [111], [141], [142].

- въглеродни конструкционни стомани без термообработка – 1.1730, 1.0577.
- инструментални стомани с предварителна твърдост HRC(28 – 32) – 1.2311, 1.2312, TOLOX33 и др.
- инструментални стомани с предварителна твърдост HRC(33–44) – 1.2738, 1.2738TSHH, TOOLOX44.
- закалена инструментална стомана HRC(46-52) – 1.2343, 1.2367(X38CrMoV5-3), 1.2767 и др.
- алуминиеви сплави Al7075, D16, Al6061 и др. Те имат отлична обработваемост, което им дава предимства при изработване на БФИ.

#### Сравняване на показателите за производителност:

При груба обработка.

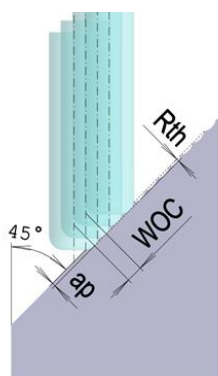
В този случай критерият за оценка на производителността е сваленият обем материал с инструмента за единица време (Metal removal rate)  $Q$  [mm<sup>3</sup>/min].

$Q = V_f \cdot a_p \cdot a_e$ , където  $V_f$  [mm/min] – подавателна скорост,  $a_p$  [mm] – дълбочина на рязане  
 $a_e$  [mm] – странично застъпване на ходовете на фрезата

- При финишна обработка.

За тази цел е избрана стратегия на фрезване, типична за този тип обработка - обработка само повърхнини, без да сваля материал в обем.

Като критерий за оценка на обработваемостта на материала в настоящия труд е представена величината –  $S_f$  [mm<sup>2</sup>/min], която характеризира скоростта на обработка на единица площ от формообразуването (Фигура 5.12).



$$S_f = V_f \cdot WOC$$

$V_f$  [mm/min] – подавателна скорост  $WOC$  [mm] – стъпка между два съседни паралелни хода на инструмента.

Фигура 5.12 Разглеждани параметри на процеса при финишно фрезване

## ИЗБОР НА ИНСТРУМЕНТИ

Подбраните инструменти са от фирма Gühring. Самият избор е направен с помощта на „Webnavigator“ на Gühring

## ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА РЕЖИМИТЕ НА РЯЗАНЕ

### За грубо фрезование

Режимите на рязане са представени в Таблица 5.8.

Таблица 5.8 Режими на рязане при грубо фрезование

N	Обработван материал	Твърдост	Инструмент	D	z	Vc	fz	ae	ap	n	Vf	Q
				mm	бр.	m/min	mm/t	mm	mm	min <sup>-1</sup>	mm/min	mm <sup>3</sup> /min
1	1.1730	215HB	RF 100 Sharp	10	4	234	0,075	4	0,5	7452	2236	4471
2	1.2311	28 HRC	RF 100 Ti	10	4	208	0,07	4	0,5	6624	1855	3710
3	1.2738 TSHH	38 HRC	RF 100 Ti	10	4	176	0,065	4	0,5	5605	1457	2915
4	1.2343	230 HB	RF 100 Sharp	10	4	120	0,072	5	0,8	3822	1101	4127
5	1.2343	48 HRC	RF 100 U	10	4	91	0,05	4	0,5	2898	580	1159
6	7075	158HB	Alu RF 100 A	10	3	650	0,1	4	0,5	20701	6210	12420
7	7075	158HB	Alu RF 100 A	4	3	472	0,05	1,6	0,4	37580	5637	3608

### За финална обработка

Режимите на рязане са представени в Таблица 5.9.

Таблица 5.9 Режими на рязане при финална обработка

N	Обработван материал	Твърдост	Инструмент	D	z	Vc	fz	ae	ap	n	Vf	Sf
				mm	бр.	m/min	mm/t	mm	mm	min <sup>-1</sup>	mm/min	mm <sup>2</sup> /min
1	1.1730	215HB	RF100G-Mold μ 65 T	10	4	295	0,12	0,2	0	9395	4510	676
2	1.2311	28 HRC	RF100G-Mold μ 65 T	10	4	267	0,12	0,2	0	8503	4082	612
3	1.2738 TSHH	38 HRC	RF100G-Mold μ 65 T	10	4	239	0,10	0,2	0	7611	2892	434
4	1.2343	48 HRC	RF100G-Mold μ 65 T	10	4	193	0,10	0,2	0	6146	2459	369
5	7075	158HB	Alu RF 100 A	10	3	750	0,08	0,2	0	23885	5374	806
6	7075	158HB	Alumi-Tech GA200 A	4	3	750	0,02	0,2	0	59713	3045	457

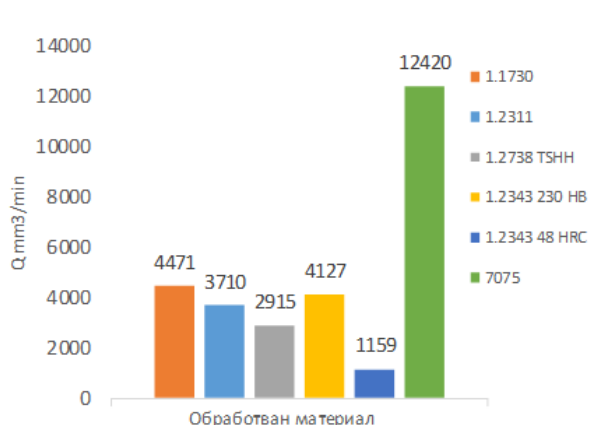
## АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ С ЦЕЛ ОЦЕНКА НА МАТЕРИАЛИТЕ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕТО ИМ В БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ.

### При груба обработка

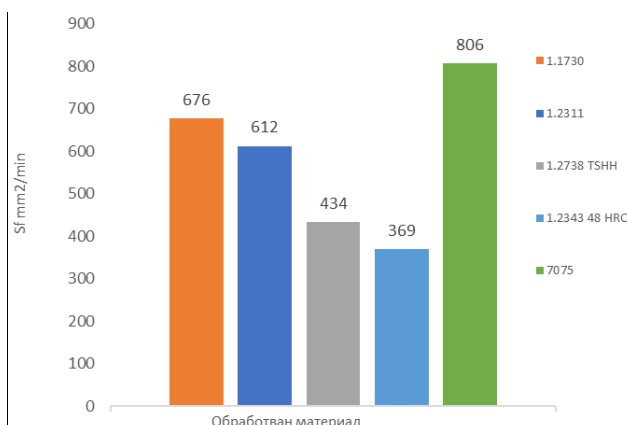
На база на резултатите от Таблица 5.8, за скоростта на отнемане на материала при грубо фрезование (Q) е създадена Фигура 5.14.

### При чиста обработка

На база на резултатите от Таблица 5.9, за скоростта на отнемане на материала при финално фрезование (Sf) е създадена Фигура 5.15



Фигура 5.14 Скорост на отнемане на материала при грубо фрезование - Q



Фигура 5.15 Скорост на отнемане на материала при финално фрезование - Sf

## 5.1.3 Препоръки за избор на материал за основните формообразуващи елементи на шприцформи от типа бързи формообразуващи инструменти

В Таблица 5.10, са обобщени данните от проучването за избор на материал за формообразуващите елементи за БФИ.



**Таблица 5.10 Избор на материал за формите при планиран живот на инструмента**

Ред на избор на материал (бр. цикли)	Нестъклонапълнени пластмаси		Стъклонапълнени пластмаси	
	а.	б.	а.	б.
500	6025		6025	7075
1000	6025	7075	7075	
5000	7075	1.2311	7075	1.2311
10000	7075	1.2311	1.2311	TOOLOX33
20000	AI 7075	1.2311	1.2311	TOOLOX33
50000	1.2311	TOOLOX33	TOOLOX33	1.2738TSHH
100000	TOOLOX33	1.2738TSHH	1.2738TSHH	TOOLOX44
200000	1.2738TSHH	TOOLOX44	TOOLOX44	

а. - първи избор, б. - втори избор

## **5.2 Конструктивни решения с възможност за прилагане при бързи формообразуващи инструменти**

Реално всички мероприятия, които се прилагат за намаляване на цената на инструмента и срока за изработването му, могат да бъдат използвани за целта. Като цяло наличните конструктивни решения в индустрията могат да се разгледат в две категории:

### **5.2.1 Налични на пазара конструктивни решения, които директно могат да се приложат при бързите формообразуващи инструменти**

При производството на пластмасови изделия чрез шприцване често се ползват нормализирани решения на водещите фирми, предлагащи нормализирани и специални елементи за вграждане в технологичната екипировка [150], [151]. Тези фирми предлагат готови конструктивни и технологични решения.

#### **НОРМАЛИЗИРАНИ БЪРЗОСМЕННИ ПАКЕТИ ЗА ШПРИЦФОРМИ ЗА МАЛКИ ПАРТИДИ И МАЛКИ СЕРИИ**

Такива пакети се предлагат от някои фирми, произвеждащи нормализирани елементи за шприцформи.

#### **Универсална база за захващане Clever Mold System в комбинация с инструмент за малки партиди и серии К 3600**

Системата се състои от две обособени части – подвижна и неподвижна. Върху тях се монтира комплектът формообразуващи К3600.

#### **Универсална база за захващане HASCO K3500**

K3500 е друга система, която е специално разработена за икономически ефективно производство на прототипи и малки серии [152], [153]. При нея вложките се вграждат в гнезда, намиращи се в постоянната база.

Основното предимство при KMS и K3600 е във времето за смяна на комплекта формообразуващи на машината, което не е съществено за БФИ. Липсата на разходи за пакет и основни стандартни елементи дава ценово предимство. При предварително зададени начални параметри е възможно да се постигнат изгодни крайни цени на изделието и проекта.

### **5.2.2 Конструктивни решения, които могат да се приложат (приспособят) при бързи формообразуващи инструменти**

Тези решения обикновено се използват в серийните формообразуващи инструменти, но с успех могат да се използват и в БФИ. Основните цели отново са намаляване на времето за изработване и/или намаляване на цената на инструмента.

#### **ИЗПОЛЗВАНЕ НА МОНОЛИТНИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ПЛОЧИ, ВМЕСТО ВГРАДЕНИ ВЛОЖКИ**

Използването на монолитни формообразуващи плочи води до намаляване на себестойността на инструмента и времето за изработването му.

#### **ИЗПОЛЗВАНЕ НА НАЛИЧНИ СТАРИ ПАКЕТИ ОТ ИНСТРУМЕНТИ, КОИТО СА ОТПАДНАЛИ ОТ УПОТРЕБА**

Използването на налични стари пакети от инструменти, които са отпаднали от употреба, също се практикува. Себестойността им при прилагане в друг инструмент е почти нулева, което ги прави атрактивни за ползване във всички направления в областта на формообразуващите инструменти.

#### **ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЗАЛОЖКИ, ВМЕСТО ПЛЪЗГАЧИ ПРИ ИЗДЕЛИЯ С ПОВЪРХНИНИ, КОИТО СЕ ВАДЯТ В ПОСОКА РАЗЛИЧНА ОТ ОСНОВНОТО ДЕЛЕНЕ**

Аналогични решения спестяват разходите около осигуряване на плъзгач в конструкцията на

инструмента, което води до опростяване на формата. С това се намалява както цената, така и срокът за изработване.

#### **ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕЗБОВИ СЪРЦА - ЗАЛОЖКИ, ВМЕСТО МЕХАНИЗЪМ ЗА РАЗВИВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ НА ДЕТАЙЛА.**

Такива заложки могат да се използват и при БФИ, за да се избегне използването на сложна и скъпа система за развиване.

#### **ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА ИНСТРУМЕНТ С ПО-МАЛКО ГНЕЗДА И ПОСЛЕДВАЩО ПРЕХВЪРЛЯНЕ НА ПРОФИЛИТЕ КЪМ ПО-ГОЛЯМ**

С цел тестване на пазара или възможно най-бърза реализация е възможно да се приложи стратегия, при която се започва с едногнездов инструмент. В него формообразуващите детайли са така проектирани, че да бъдат използвани впоследствие в друг многогнездов инструмент.

#### **ИНТЕГРАЦИЯ НА ЕЛЕМЕНТИ С ЦЕЛ НАМАЛЯВАНЕ НА СЕБЕСТОЙНОСТТА И ВРЕМЕТО ЗА ИЗРАБОТКА**

При проектиране и конструиране на изделията обединяването на изпълнението на няколко функции от един детайл/ възел води до опростяване на конструкцията и намаляване на себестойността и времето за изработване.

#### **ПРИЛАГАНЕ НА КОНСТРУКЦИЯ С ДВОЙНО ДЕЛЕНЕ ВМЕСТО ТОПЛОКАНАЛНА СИСТЕМА**

В някои случаи е възможно да се използва конструкция двойно делене вместо топлоканална система. С това конструктивно решение се намалява цената за сметка на усложняването на кинематиката на инструмента.

#### **ДРУГИ РЕШЕНИЯ, КОИТО МОГАТ ДА СЕ ПРИЛОЖАТ ПРИ КОНСТРУИРАНЕ НА БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ, С ЦЕЛ НАМАЛЯВАНЕ НА СЕБЕСТОЙНОСТТА**

Нормализирани елементи, които се предлагат от специализираните в областта на формообразуващата екипировка фирми. Тези елементи се предлагат готови на пазара заедно с техническо решение за прилагането им. Основната цел на доставчиците е да предложат продукт, който да отменя работата на производителя на инструмента по проектирането и производството на традиционни конструктивни решения. Тази насока съвпада с идеологията за производство на БФИ.

- **Плъзгачи**
- **Гъвкави изхвъргачи**
- **Цангови устройства за вътрешни, външни засечки и резби**
- **Самозаклучващи се хидроцилиндри**

#### **РЕШЕНИЯ ЗА СЪКСЯВАНЕ НА СРОКА ЗА ИЗРАБОТВАНЕ, КАСАЕЩИ ОРГАНИЗАЦИЯТА И ДЕЙНОСТИТЕ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ И КОНСТРУИРАНЕ НА ИНСТРУМЕНТИТЕ**

При БФИ е удобно да се работи с "опростени" чертежи или схеми и директно с 3D модела. Изключителен ефект (но само при правилна организация на целия процес) има при максимално използване на 3D модела за информация относно допуски, грапавост и др.

Изгодно е да се използват автоматични функции за създаване на този тип документация, като "explode". Изключително полезна функция е автоматичната спецификация на детайлите - тя пести както време, така и ограничава възможността за грешки.

### **5.3 Технологичен маршрут**

- От гледна точка на процеса за БФИ най-изгоден е вариантът без термообработка по време на процеса.
- Използването на Р-плочи за формообразуващите дава предимства при производството на БФИ.

### **5.4 Иновативен модулен инструмент, със сменяеми вложки и възможност да се ползват плъзгачи**

В рамките на задачата е разработена конструкция на модулен инструмент със сменяеми вложки и възможност да се ползват плъзгачи. Ползван е опит от дейности на фирма „Солтоформ“, както и работа по задачи от СНИРД и ТУ. Тъй като идеалното решение за казуса е прекалено сложно или невъзможно, са поставени определени начални условия. Целта е те да осигуряват възможно най-голям обхват от приложения на инструмента съгласно разработената стратегия в Глава 4. Основната цел е да се създаде теоретична база за предварително изследване на конструктивните решения относно прилагане на БФИ съгласно разработените стратегии.

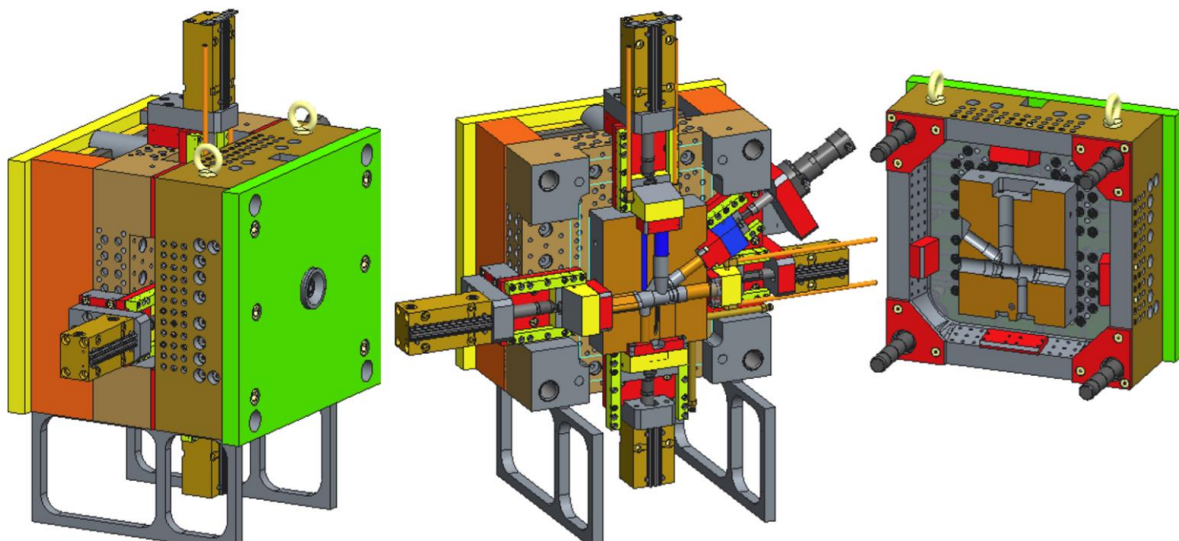
### 5.4.1 Начални условия

- основните профилни елементи да бъдат с различни размери по дебелина и по основен габарит в даден обхват.
- да бъде осигурена възможността за използване на плъзгачи под различен ъгъл спрямо габаритите на инструмента.
- плъзгачите да могат да се използват по всичките страни на инструмента.
- да се ползват плъзгачи и в неподвижната част.
- възможност да се ползват максималните габарити на инструмента във вариант без плъзгачи.
- възможност за използване на различни материали за основните формообразуващи елементи.
- минимални разходи по изхвъргачния пакет.
- възможност формообразуващите елементи да се вградят в постоянен пакет, ако условията на пазара го изискват.
- при всяка модификация икономическите параметри да са предвидими.
- систематизиране на конструкторския труд при използване на инструмента в частта проектиране на поредните (нови) формообразуващи елементи. Да се използва оптимизирана методика, дейностите на която да са лесно предвидими, както по време, така и по резултати.
- използване на типови технологии за изработване на основните елементи на формообразуващите.

### 5.4.2 Описание на конструкцията

#### а. Пакет.

Основните размери на пакета са подбрани така, че да осигуряват използването на вложки с максимално големи размери. В случая е разгледан пакет с размери 496x496. Конструкцията на инструмента е представена на Фигура 5.38.



Фигура 5.38 Модулен инструмент, със сменяеми вложки и възможност да се ползват плъзгачи.

#### б. Основни формообразуващи елементи

Предвидени са няколко варианта на размерите за всеки габарит на пакета:

- максимални размери 256 (при модифицирани краища на формите - 296) x 446. Ползват се, когато не са необходими плъзгачи.
- номинални размери 296 x 346. Ползват се при сравнително големи детайли с плъзгачи.
- минимални размери 216 x 246. Ползват се с различни комбинации от плъзгачи във всички посоки.

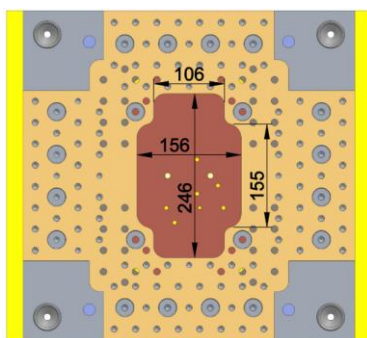
#### в. Плъзгачи

Предвидено е плъзгачите да се задвижват чрез хидроцилиндри. Хидроцилиндрите са универсални и могат да се комбинират с набор от универсални елементи. Тези комплекти могат да се използват многократно за различни варианти на плъзгачите според проекта. За целта е необходимо да се изработят само формообразуващите елементи на плъзгача и малък брой опростени детайли, които служат за ориентация.

При необходимост от плъзгач в подвижната част, който е с къс ход, могат да се използват и нормализирани плъзгачи, предлагани от доставчиците на елементи за формообразуваща екипировка.

#### г. Изхвъргачен пакет и изхвъргачи

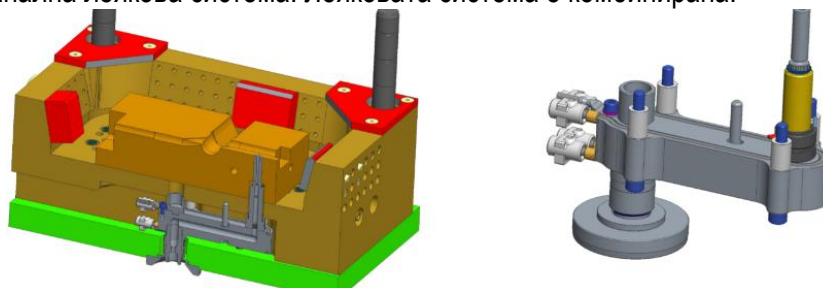
За целта в подвижната плоча на инструмента са осигурени две зони – основна/малка и допълнителна/голяма, в които могат да се монтират изхвъргачи, изобразено на Фигура 5.42.



Фигура 5.42 Зона на изхвъргачите

#### д. Леякова система

Инструментите за малки серии обикновено е необходимо да са едногнездови. Това от своя страна поражда проблема с ексцентрицитета. Изискването за странично пълнене може да бъде породено от технологични изисквания спрямо процеса (най-добро положение на втока) или при предварително тестване на възможностите за прилагане на многогнездов инструмент със студеноканална система. В разглежданата конструкция на Фигура 5.43 изнасянето на основния леяк е реализирано чрез Г-образна топлоканална леякова система. Леяковата система е комбинирана.



Фигура 5.43 Възможност за ексцентрично пълнене с топла дюза

#### е. Темперираща система

Основен критерий при tempering system е възможността за гъвкавост спрямо вариантите на формообразуването - важен фактор при универсалните инструменти. Темперирането в постоянния пакет трябва да може да се пренастройва и да дава възможност за максимална свобода при свързването на отделните кръгове във формообразуването. В подвижната част свързването то е чрез удължени тръби/бързи връзки, които чрез резба са монтирани към формите и дават голям брой комбинации. Плъзгачите също могат да бъдат tempered.

#### ж. Други системи и елементи

Такива са водещите елементи – втулки и колонки, които са постоянни. За регулиране на натяга на формата в посока на основното затваряне и индиректно в определена степен на плъзгачите се използват сменяеми планки по височина.

#### 5.4.3 Икономическа оценка

Себестойността на инструмента е 79200лв. В Таблица 5.26 е дадена себестойността на инструмента за една пълна окомплектовка с планираните елементи и възли. Приет е срок за откупване (амортизация) 5 години, като се предвижда по 18 проекта годишно.

Таблица 5.26 Себестойност на инструмента и себестойност на проект

Себестойност на проект	
Срок за откупване на инструмента	5 години
бр. проекти/година	18
Цена за 1 проект	880 лв.
Планирано количество детайли за проект бр.	3000
Цена за 1 детайл, като част от общата структура на инструмента	0,293 лв.
Текуща цена за материал за нови профили лв.(1.2311)	870 лв.
<b>Цена за 1 детайл при планирано количество 3000бр. за проект.</b>	<b>0,583 лв.</b>
<b>Крайна цена за един проект при планирано количество 3000бр. за един проект.</b>	<b>1 750 лв.</b>

## 5.5 Изводи

- При БФИ използването на алуминиеви сплави за формообразуващите е технически и икономически обосновано.

- Прилагането на инструменти с постоянна база дава възможност да се избегнат разходите по придобиване и дообработка на елементите за пакета. Това от своя страна дава възможност себестойността на инструмента да се получи само от формообразуващите.

- При инструментите с постоянен пакет не е необходима пълна конструктивна оптимизация. Конструктивните решения относно захващане, темпериране и др. са заложили предварително и конструктора на формите е необходимо да се съобрази с тях по начин, аналогичен на този при избор на габарита на стандартните пакети (най-близкия по параметри).

- Себестойността на материала на формообразуващите и тази на пакета не винаги определят себестойността на бързия инструмент.

- Широките възможности на универсалния пакет увеличават цената му, което го прави в редица случаи неизгоден като първоначална инвестиция.

## 6 ГЛАВА: МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ПРОИЗВОДСТВО НА БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ, ИЗРАБОТВАНИ ЧРЕЗ КОНВЕНЦИОНАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ

Методологията се базира на разработената стратегия(Глава 4). На блок диаграмата на Фигура 6.1. в представен начина на избор на подхода за решаване на задачата.

Подходът се реализира в три варианта за изпълнение и може да бъде в голяма степен общ. Това е така, защото изработването на формообразуващите и в трите случая става със сходни технологии. Вариантите за изпълнение на подхода са разгледани в тб.1, т.6.2 и тб.3.



Фигура 6.1 Методология за определяне на подхода за проектирането и производството на бързи формообразуващи инструменти

### 6.1 Вариант с използване на универсален пакет

При използването на универсален пакет в проекта се калкулират само дейностите, касаещи формообразуването.

### 6.2 Вариант с инструмент с нов пакет(от нуля)

Случаят е почти аналогичен на този за сериен(стандартен) инструмент. Предприемат се определени мерки за ограничаване на цената и/ или намаляване на срока за изработване в зависимост от преследваната цел.

### 6.3 Вариант с използване на отпаднал от необходимост пакет

Този вариант е междинен, като включва елементи както от т. 6.1, така и от т. 6.2.

Общото с варианта, в който се прилага универсален пакет е, че не се закупува нов пакет. Това

намалява разходите значително, но затруднява и забавя процесите на планиране и проектиране на инструмента.

#### 6.4 Изводи

- Идеалното решение на задачата не е възможно поради разнообразието от начални условия.
- За БФИ вариантите с универсален пакет са изключително подходящи и поради това се препоръчва да се работи в тази посока.
- Вариантът с отпаднал от производството пакет при определени обстоятелства може да бъде изгоден, както от икономическа, така и от техническа гледна точка.

### 7 ГЛАВА: АПРОБАЦИЯ НА СТРАТЕГИЯТА И МЕТОДОЛОГИЯТА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ, ИЗРАБОТВАНЕ И ПРИЛАГАНЕ В ИНДУСТРИЯТА НА БЪРЗИ ФОРМООБРАЗУВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ ЧРЕЗ ПРИЛОЖНИ ПРАКТИЧЕСКИ РЕШЕНИЯ И ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКА ОЦЕНКА НА ПРИМЕРИТЕ

В рамките на настоящата работа, с цел апробиране на стратегията и методологията за проектиране, изработване и прилагане на БФИ, са проектирани и изработени три инструмента. Чрез тях са решени реални казуси в практиката и е направена технико-икономическа оценка.

#### 7.1 Универсална шприцформа за производството на малки серии детайли

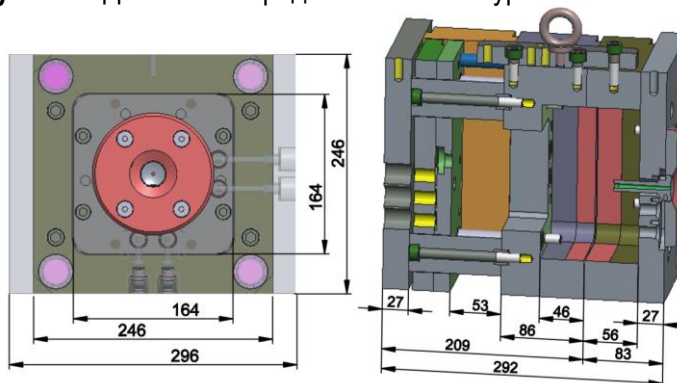
При разглежданите подходи за изпълнение на проекта най-големи предимства притежава вариантът с универсален пакет. Поради това той е използван за решаване на текущи задачи и с цел апробация на стратегията.

##### 7.1.1 Конструкция

Инструментът е проектиран и изработен в София Тех Парк.

##### ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ИНСТРУМЕНТА

- **Тип на инструмента:** Инструмент с универсален пакет със сменяеми формообразуващи елементи. Подходът за работа с него е предвидено да бъде като този в т. 6.1.
- **Предвидена машина:** Затварящо усилие 60 - 80т.
- **Габарити на инструмента:** Данните са представени на Фигура 7.2.



Фигура 7.2 Универсална шприцформа за производството на малки серии детайли. Основни габарити на инструмента

##### ПОСОКА НА ДЕЛЕНЕ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ПЛЪЗГАЧИ

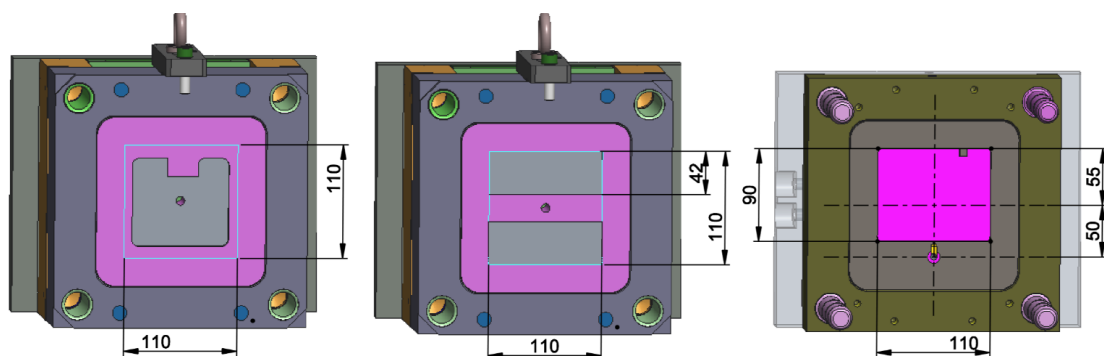
С цел ограничаване на сложността на инструмента и габаритите му, използването на плъзгачи не се предвижда.

##### ЛЕЯКОВА СИСТЕМА

Инструментът е предвиден да работи със студеноканална леякова система, с възможност за корекции по положение. Има възможност за изнесено положение на леяковата втулка и центроващата гивна в три положения: 0, -25, -50.

##### ГАБАРИТИ НА ДЕТАЙЛА И БРОЙ ГНЕЗДА

Инструментът осигурява шприцването на детайл с максимални габарити 110x110, при централно разположение на леяка, според на Фигура 7.5а. На Фигура 7.5 б. са изобразени габаритите при двугнездов вариант на инструмента. Съществена функция на инструмента е възможността да се измества наливната втулка ексцентрично (Фигура 7.5в).



а. Габарити на детайл с централно хранване

б. Габарити при двугнездов инструмент

в. Странично хранване на детайла с изнасяне на леяковата втулка

**Фигура 7.5 Универсална шприцформа за производството на малки серии детайли. Обхват на габаритите на шприцвания детайл**

#### ИЗХВЪРГАЧНА СИСТЕМА

В нея се използват стандартни изхвъргачи.

Свободното разполагане на изхвъргачи е ограничено в зоната на детайла и е в кореспондиращо поле с размери 110x110 мм. За целта подвижната плоча има освободена зона с тези размери

#### ТЕМПЕРИРАЩА СИСТЕМА

Има предварително дефинирани входове и изходи. При проектиране на сменяемите профилни елементи е необходимо да бъде съобразено положението им.

#### 7.1.2 Технология за проектиране и изработване на профилните елементи

Профилните елементи са с фиксиран габарит, определен от гнездата в плочите. Важен елемент от икономическата част в инструмента е възможността да се прогнозира с голяма точност икономическите и техническите показатели за всеки един проект. Това дава възможност за определяне на оптимална цена без надценка за "сигурност". Освен това е възможно да се даде оферта в изключително кратък срок. Тези качества правят инструмента изключително конкурентен.

#### 7.1.3 Себестойност на инструмента и изделиято

Спецификата на инструмента дава две различни себестойности - себестойност на базовата част и себестойност за текущия проект, съгласно на разгледаното в т. 5.4.

#### СЕБЕСТОЙНОСТ НА ПАКЕТА

Тя включва себестойността на материалите и доработката на елементите, както и допълнителните разходи. Данните са представени в Таблица 7.2.

**Таблица 7.2 Себестойност на пакета**

Поз	Наименование	Себестойност
1	<b>Себестойност материали</b>	3 871 лв.
2	<b>Себестойност доработка</b>	6 500 лв.
3	<b>Допълнителни разходи</b>	3 000 лв.
<b>Себестойност на пакета</b>		<b>13 371 лв.</b>

#### СЕБЕСТОЙНОСТ НА ПРОЕКТ С ИНСТРУМЕНТА

Себестойността на проект с инструмента е разгледана на базата на приетите оптимални 3000 бр. цикъла за един проект. Прието е, че годишно се изпълняват 12 проекта. Представено в Таблица 7.4.

**Таблица 7.4 Себестойност на проект с инструмента**

<b>Себестойност на проект с инструмента</b>	
Срок за откупуване на инструмента	5 години
бр. проекти/година	12
Себестойност за 1 проект като част от постоянната база	223 лв.
Планирано количество детайли за проект бр.	3000
Себестойност за 1 детайл, като част от общата структура на инструмента	<b>0,074 лв.</b>
Себестойност за материал за нови профили .от 1.2311	235 лв.
<b>Цена за 1 детайл при планирано количество 3000бр. за проект.</b>	<b>0,153 лв.</b>
<b>Начална инвестиция за един проект при планирано количество за проекта 3000бр.</b>	<b>458 лв.</b>

Чрез инструмента до момента са изпълнени два реални проекта – „Шприцформа за UV защитна

маска“ и „Шприцформа за чаша зеолит“.

#### 7.1.4 Шприцформа за UV защитна маска

##### Исходни данни

Детайл - персонална лицева прозрачна маска с технология за UV-C защита.

Материал: TPE или мек поливинилхлорид (PVC). Инструментът трябва да може да работи и с двата материала.

Външен вид на изделието – изискване за прозрачност на детайла.

Производствена програма: Като начало не е известно количеството на необходимите за пазара изделия. Оценката е, че е възможно да има потребност от първоначална серия за тестване, мостри за пазара и евентуално осигуряване на първите поръчки в порядъка от 5000 до 10000 детайла.

**Стратегия за проектиране и производство.** Процесът е представен чрез Таблица 7.5.

Таблица 7.5 Прилагане на стратегия за проектиране и производство на инструмент за изделие UV маска

1. Начални данни		
1.1	Конструкция на детайла	
1.1.1	Геометрия на детайла	Виж Фигура 7.9
1.1.2	Материал на детайла	PVC/ TPE
1.2	Необходим брой детайли	10 000
1.3	Срок за изпълнение на проекта	7 р.с.
2. Определяне стратегията за работа		
2.1.	Необходимост от валидация	Да
2.2.	Какво е необходимо да се валидира?	Детайл
2.3.	Възможно ли е валидиране чрез RP?	Не
3.	Тип на стратегията според класът на инструмента	За валидиране на детайл/ допълнително условие е да има възможност за изпълнение на 10000бр. детайли
4. Определяне на подхода за решаване на задачата		
	Възможност за използване на универсален пакет	Да
5	Определяне началните изисквания към инструмента	Виж „Конструкция на инструмента“

##### КОНСТРУКЦИЯ НА ИНСТРУМЕНТА

Материал на формообразуващите елементи - стомана 1.2311 HRC 28. Тя осигурява работата с PVC и живота на инструмента. С цел изследване малката неподвижна вложка е изработена от EN 7075.

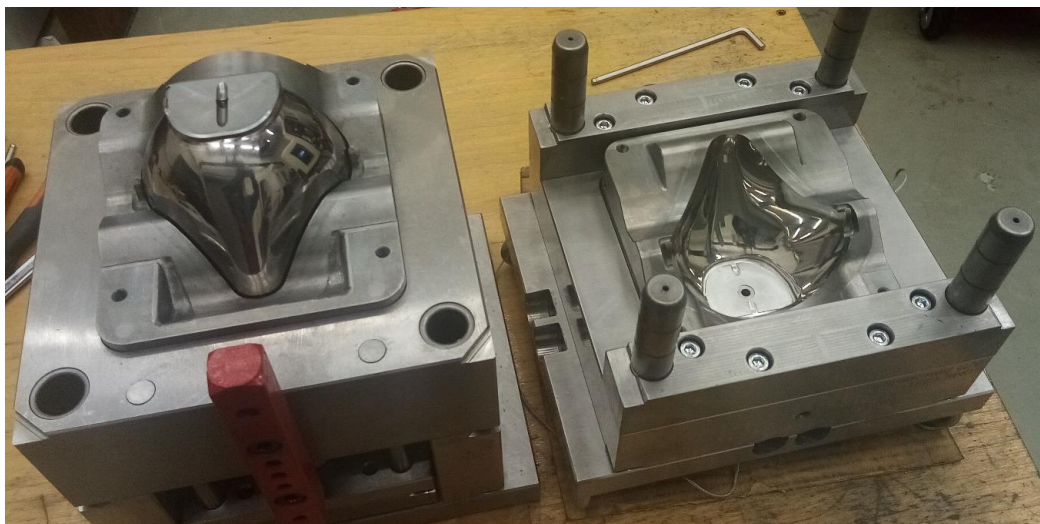
##### Тип и клас на обработка на формообразуващите повърхности:

За изделието има специфични изисквания за повърхностите, касаещи външния му вид:

- Прозрачност. Поради това формообразуващите повърхности се предвижда да бъдат полирани до огледална повърхност.

- Материалът на изделието - PVC, отделя хлорни съединения по време на шприцване и поради това е агресивен към материала на инструмента. Подбраният материал 1.2311 осигурява минимална, но приемлива защита, като дава добър баланс цена/ възможности.

Универсалната шприцформа за производството на малки серии детайли с монтиран комплект вложки за производството на UV защитна маска е изобразена на Фигура 7.16.



Фигура 7.16 Шприцформа за UV защитна маска. Готов инструмент – подв. и неподв. част



Готовите детайли - UV защитна маска, изработени с инструмента, са показани на Фигура 7.17



Фигура 7.17 Шприцформа за UV защитна маска. Готови детайли

#### СЕБЕСТОЙНОСТ НА ИНСТРУМЕНТА И ИЗДЕЛИЕТО

Себестойността на инструмента е 8806лв. В Таблица 7.7 е представена себестойността на изделието.

Таблица 7.7 UV защитна маска - себестойност на изделието

Себестойност на изделието	
Планирано количество детайли за проекта	5 000бр.
Себестойност на 1 детайл като част от себестойността на инструмента	1,76 лв.
Себестойност на материала за 1 детайл	0,23 лв.
Себестойност за шприцване на 1 детайл	0,94 лв.
Себестойност на единица изделие(комплект детайли)	2,93 лв.

#### 7.1.5 Шприцформа за чаша зеолит (Zeo Cup)

##### Исходни данни

Детайл – чаша (Zeo Cup) (Фигура 7.18), с материал, който представлява компаунд от полимер (PLA) и зеолит. Инструментът е прототипен и е с цел разработване на подходяща технология за изработване на изделието. С него е предвидено да се оцени и оптимизира конструкцията на изделието.

Инструментът служи и за разработване на материала за изделието. Такъв материал не е наличен на пазара.

**Стратегия за проектиране и производство.** Процесът е представен чрез Таблица 7.8.

Таблица 7.8 Прилагане на стратегия за проектиране и производство на инструмент за изделие Чаша зеолит

1. Начални данни		
1.1	Конструкция на детайла	
1.1.1	Геометрия на детайла	Виж Фигура 7.18
1.1.2	Материал на детайла	PLA + Зеолит
1.2	Необходим брой детайли	400
1.3	Срок за изпълнение на проекта	3 р.с.
2. Определяне стратегията за работа		
2.1.	Необходимост от валидация	Да
2.2.	Какво е необходимо да се валидира?	Материал, процес
2.3.	Възможно ли е валидиране чрез RP?	Не
3.	Тип на стратегията според класът на инструмента	За валидиране на процес
4.	Определяне на подхода за решаване на задачата	
	Възможност за използване на универсален пакет	Да
5	Определяне началните изисквания към инструмента	Виж „Конструкция на инструмента“

#### КОНСТРУКЦИЯ НА ИНСТРУМЕНТА

Конструкцията на инструмента използва наличния универсален пакет. Изработват се нови само формообразуващите елементи.

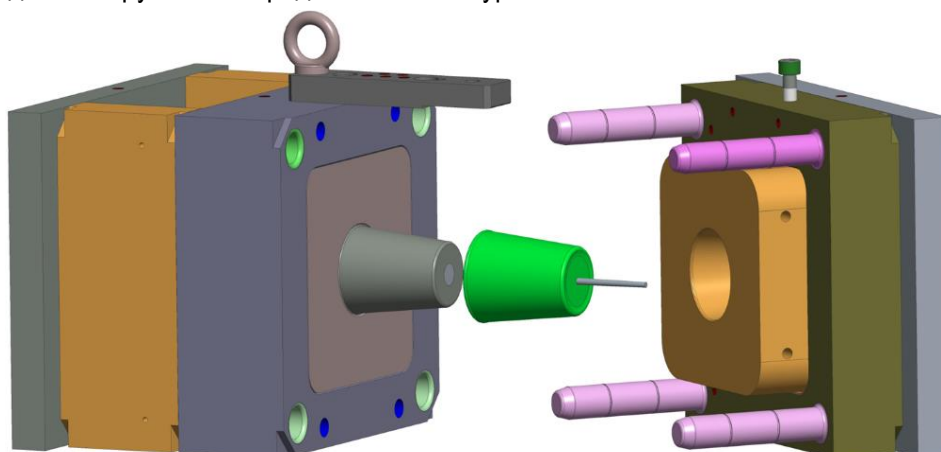
Материал на формообразуващите вложки - стомана 1.2311 HRC 28.

Тип и клас на обработка на формообразуващите повърхности. За изделието няма специфични изисквания за повърхностите, касаещи външния му вид. С оглед на липсата на изхвъргачен комплект, формообразуващите повърхности се предвижда да бъдат полирани с грапавост под Ra 0,32, за което спомага и приетият материал. Това е от гледна точка на функционалността на инструмента - лесно

сваляне на детайла от поансона.

### Краен вид на инструмента

Крайният вид на инструмента е представен на Фигура 7.24.



Фигура 7.24 Шприцформа за чаша. Краен вид на инструмента

На Фигура 7.25 са представени изработените формообразуващи на инструмента.



а. Формообразуващи преди монтаж



б. Формообразуващи монтирани

Фигура 7.25 Шприцформа за чаша. Формообразуващи елементи

### СЕБЕСТОЙНОСТ НА ИНСТРУМЕНТА И ИЗДЕЛИЕТО

Себестойността на инструмента е 2971лв. В е представена себест. на изделието.

Таблица 7.10 Чаша – себестойност на изделието

Себестойност на изделието	
Планирано количество детайли за проекта	400бр.
Себестойност на 1 детайл като част от себестойността на инструмента	7,43 лв.
Себестойност на материала за 1 комплект детайли	0,53 лв.
Себестойност за шприцване и монтаж на 1 комплект детайли	0,63 лв.
Себестойност на единица изделие(комплект детайли)	8,59 лв.

## 7.2 Шприцформа за очила леки.

### Изходни данни:

Детайл – предпазни очила.

Материал: РС.

Външен вид на изделието - прозрачност на детайла.

Производствена програма: Като начало не е известно количеството на необходимите за пазара изделия. Оценката е, че е възможно да има потребност от първоначална серия за **тестване, мостри** за пазара и евентуално осигуряване на **първите** поръчки в порядъка до 20 000 детайла. При успех на пазара се предвижда и дванадесетгнездов (3+3+3+3) сериен инструмент.

**Стратегия за проектиране и производство.** Процесът е представен чрез Таблица 7.11.

Таблица 7.11 Прилагане на стратегия за проектиране и производство на инструмент за изделие очила леки

1. Начални данни		
1.1	Конструкция на детайла	
1.1.1	Геометрия на детайла	Виж Фигура 7.26
1.1.2	Материал на детайла	РС
1.2	Необходим брой детайли	20000
1.3	Срок за изпълнение на проекта	7 р.с.
2. Определяне стратегията за работа		
2.1.	Необходимост от валидация	Не
2.2.	Тип на производството	Серийно
2.3.	Срок на изпълнение	кратък(7 р.с.)
3.	Тип на стратегията според класа на инструмента	Бърз сериен инструмент
4. Определяне на подхода за решаване на задачата		
	Възможност за използване на универсален пакет	Не
	Възможност за използване на наличен пакет	Да
5	Определяне началните изисквания към инструмента	Виж „Конструкция на инструмента“

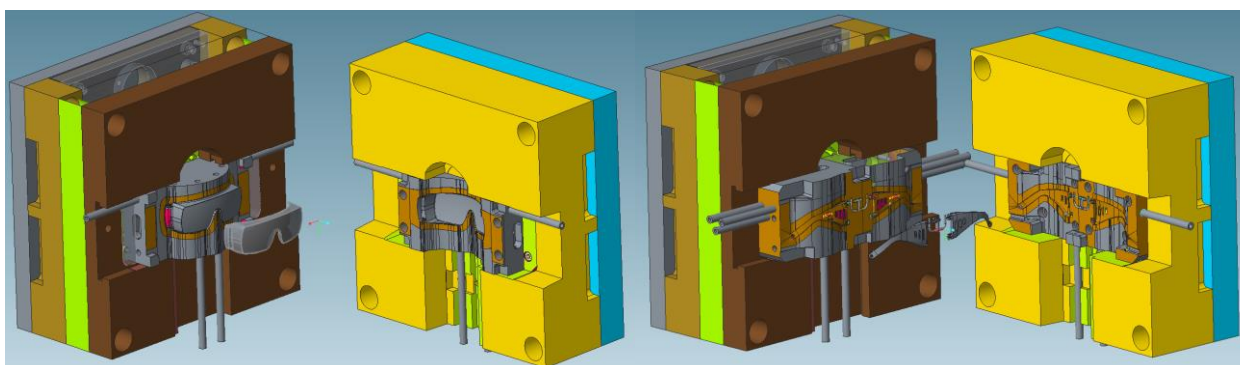
### КОНСТРУКЦИЯ НА ИНСТРУМЕНТА

Материал на формообразуващите вложки - стомана 1.2767 HRC 50-52.

Тип и клас на обработка на формообразуващите повърхности. За изделието има високи изисквания за прозрачност на повърхностите, кореспондиращи с клас на грапавост на формите Ra 0,05. Поради това е избран съответният материал и твърдост.

### Краен вид на инструмента

Крайният вид на инструмента в конфигурация за визьор е представен на Фигура 7.35, а за рамена на Фигура 7.36.



Фигура 7.35 Шприцформа за очила леки. Визьор - подвижна и неподвижна част

Фигура 7.36 Шприцформа за очила леки. Рамена - подвижна и неподвижна част

Елементите на изделието и готовият детайл са представени на Фигура 7.37.



а. Комплект детайли след шприцване.



б. Готово изделие

Фигура 7.37 Шприцформа за очила леки

### СЕБЕСТОЙНОСТ НА ИНСТРУМЕНТА И ИЗДЕЛИЕТО

Себестойността на инструмента е 21865лв. В Таблица 7.13 е представена себест. на изделието.

Таблица 7.13 Очила леки – себестойност на изделието

Себестойност на изделието	
Планирано количество изделия за проекта	20 000бр.
Себестойност на 1 изделие като част от себестойността на инструмента	1,09 лв.
Себестойност на материала за 1 комплект детайли	0,26 лв.
Себестойност за шприцване и монтаж на 1 комплект детайли	1,44 лв.
Себестойност на единица изделие(комплект детайли)	2,80 лв.

### 7.3 Шприцформа за тест на конструкцията на еластична панта за детайл рамка за шлем голям

#### Изходни данни:

Детайл – елемент, включващ еластичната панта от детайл рамка за шлем. Целта е тестването на конструкцията на еластичната панта, чрез оценяване на надеждността ѝ. Втората цел е потвърждаването на решенията относно конструкцията на инструмента и технологията за производство на детайла.

Материал: РР. Изисква се използването на материала, който е предназначен за оригиналното изделие, като е възможно да се тестват и други видове РР с различен индекс на течливост.

Производствена програма: на база на експертна оценка е прието минималният живот на инструмента да бъде мин. 100 цикъла.

#### ОЦЕНКА НА НАЧАЛНИТЕ ПАРАМЕТРИ И ПРИЛАГАНЕ НА СТРАТЕГИЯ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ПРОИЗВОДСТВО НА ИНСТРУМЕНТ ЗА ИЗДЕЛИЕ РАМКА ЗА ШЛЕМ ГОЛЯМ

**Живот на инструмента.** Такъв не е зададен при първоначалните данни. От факта, че се изисква да се тества част от конструкцията на детайла, може да се изведе, че ще се извършат няколко проби, което ще изисква минимум 100 цикъла живот на инструмента, като е необходимо да се остави допълнителен резерв.

**Особености.** Предвидено е инструментът да бъде максимално опростен, като се използва пакет от наличен, отпаднал от употреба инструмент. Предвидено е да не се използва темперираща и изхвърляща система.

**Стратегия за проектиране и производство.** Процесът е представен чрез Таблица 7.14.

Таблица 7.14 Прилагане на стратегия за проектиране и производство на инструмент за изделие рамка за шлем голям

1. Начални данни		
1.1	Конструкция на детайла	
1.1.1	Геометрия на детайла	Виж Фигура 7.38
1.1.2	Материал на детайла	РР
1.2	Необходим брой детайли	100
1.3	Срок за изпълнение на проекта	2 р.с.
2. Определяне стратегията за работа		
2.1.	Необходимост от валидация	Да
2.2.	Какво е необходимо да се валидира?	Детайл
2.3.	Възможно ли е валидиране чрез РР?	Не
3.	Тип на стратегията според класът на инструмента	За валидиране на детайла
4.	Определяне на подхода за решаване на задачата	
	Възможност за използване на универсален пакет	Да/ В момента на реализирането на изделието все още няма наличен универсален пакет, поради това реално се използва стар наличен.
5	Определяне началните изисквания към инструмента	Виж „Конструкция на инструмента“

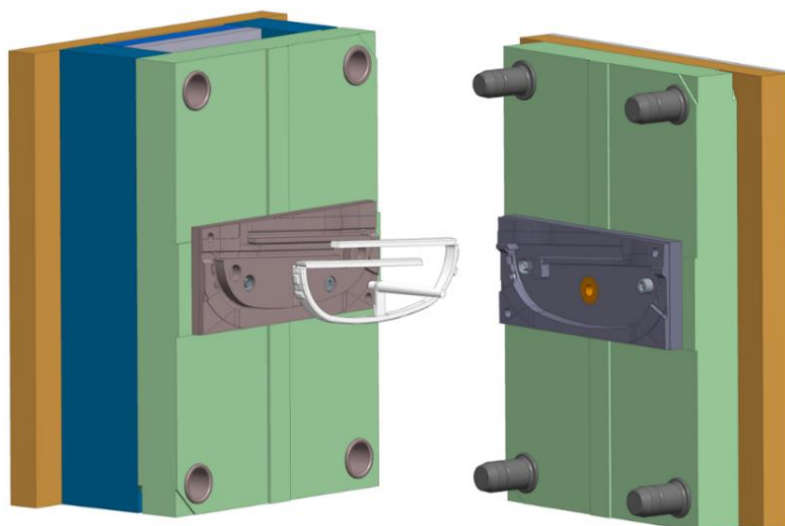
#### КОНСТРУКЦИЯ НА ИНСТРУМЕНТА

Предварително са определени оптимални габарити на формообразуващите – 170x70 и на пакета – 246x136. На база на тези данни фирма „Арексим инженеринг“ проучва свои налични инструменти, които са отпаднали от производството, като се спира на пакет с размери 196x296. Пакетът е значително по-голям от необходимия, но нулевата себестойност прави приложението му практически за случая. Той се нуждае от минимална доработка, като се използва и неговата наливна втулка.

Материал на формообразуващите вложки – алуминиева сплав EN AW7075.

#### Краен вид на инструмента

Формообразуващите са монтирани в плитки гнезда в носещите плочи и се захващат с по два винта към тях, откъм делителната равнина. Крайният вид на инструмента е представен на Фигура 7.41.



**Фигура 7.41 Шприцформа за тест на конструкцията на еластична панта за детайл рамка за шлем голям. Общ вид на инструмента**

Готовото изделие е представено на Фигура 7.43 а, а на Фигура 7.43 б е представен реалния детайл, изработен с последващия серийен инструмент, за който е предвиден тестовия.



а. Тестов детайл



б. Реален детайл

**Фигура 7.43 Рамка за шлем голям.**

#### СЕБЕСТОЙНОСТ НА ИНСТРУМЕНТА И ИЗДЕЛИЕТО

Себестойността на инструмента е 1123 лв. В Таблица 7.16 е представена себест. на изделието.

**Таблица 7.16 Рамка за шлем голям. Тестов детайл. Себестойност на изделието.**

Себестойност на изделието	
Планирано количество изделия за проекта	<b>100бр.</b>
<b>Себестойност на 1 изделие като част от себестойността на инструмента</b>	<b>11,23 лв.</b>
Себестойност на материала за 1 детайл	<b>0,07 лв.</b>
Себестойност за шприцване на 1 детайл	<b>0,63 лв.</b>
<b>Себестойност на единица изделие</b>	<b>11,93 лв.</b>

#### АНАЛИЗ

Анализът на себестойностите показва, че цената 11,93 лв./бр. е висока за шприцван серийен детайл. Но с оглед на това, че се касае за прототипен детайл и тест на елемент от конструкцията, тя е адекватна. Високата цена се дължи на малкия брой необходими детайли. Като цяло стойността на цялата инвестиция е с ниска себестойност и напълно оправдава дейностите. Мероприятието няма алтернативен вариант с 3D принтиране.

#### 7.4 Изводи

Според приетата методика и реализираните проекти може да се направят следните изводи:

- При изработването с конвенционални технологии БФИ себестойността на един детайл е значително по-висока от тази на детайл, изработен със серийен инструмент.
- Срокът за изработване на тези инструменти може да бъде значително по-малък от този на серийните.
- Цената на тези инструменти е значително по-ниска от тази на серийните.
- Използването на налични пакети е изключително изгодно. Разгледаните два варианта – с универсален пакет и с пакети от отпаднали от употреба инструменти, се вписват напълно в

идеологията за производството на БФИ.

- Вариантът с универсален пакет има предимства пред варианта с отпаднали от необходимост пакети. Основното е, че се спестява време за дообработка на пакета и не е необходимо допълнително проучване на наличната конструкция.
- Добър вариант е фирмите, използващи универсални пакети, да имат няколко типоразмера, в зависимост от наличните шприц машини и съответно предмета на дейност.
- БФИ, произведени чрез конвенционални технологии, имат превъзходство над тези с адитивни методи при големи инструменти.
- При този тип БФИ има „мащаб“ на техническите и икономическите параметри на поръчката.
- Използването на готови решения дава възможност да се прогнозира срокът на работа по дадения проект.

## **ИЗВОДИ И ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **Основни изводи**

В резултат на изследванията в настоящата работа са изведени следните по-важни изводи:

1. Конвенционалните методи за производство на формообразуваща инструментална екипировка за серийно и масово производство са приложими за производство на бързи формообразуващи инструменти.
2. На пазара съществуват редица готови решения за стандартни елементи, които при определена организация могат да се използват успешно за производството на бързи формообразуващи инструменти.
3. В разглежданата област на индустрията косвените специални методи са непрактични. Те не отговарят на стандартите и добрите практики, използвани от фирмите за производство на формообразуваща инструментална екипировка.
4. „Директните“ методи отговарят най-добре на „идеологията“ на производителите на формообразуваща инструментална екипировка.
5. Наличните до момента адитивни технологии са с определени ограничения по отношение на якост, точност и качество на повърхностите. Това не дава възможност да се изработват инструменти със сложни делителни и формообразуващи повърхности, без да има нужда от допълнителна механична обработка на тези повърхности.
6. При бързите формообразуващи инструменти, изработени с конвенционални методи, съществена роля за ефективността играе планирането на целия жизнен цикъл. Всяко едно забавяне и отклонение води до разходи, както финансови, така и на време, които могат да декласират екипировката от разглеждания до момента клас бързи формообразуващи инструменти.
7. Използването на алуминиеви сплави за формообразуващи елементи, обработвани с конвенционални технологии, е перспективно и е конкурентно на съвременните адитивни методи по отношение на време и цена.
8. Възможно е да се изработят бързи формообразуващи инструменти с голяма трайност.

### **Приноси в дисертационния труд**

Дисертационната работа разглежда проблеми, свързани със стратегията и технологиите за производство на бързи формообразуващи инструменти. От направените изследвания и разработки могат да се отбележат следните по-значими приноси:

#### **Научно-приложни приноси:**

1. Разработени са стратегия и методология за прилагането и при проектиране, изработване и приложимост на бързите формообразуващи инструменти в индустрията.
2. На база на извършената оценка на методите за производството на бързи формообразуващи инструменти чрез конвенционални технологии е определена "зона на ефективна приложимост".
3. Разработен е и апробиран подход за усъвършенстване и подобряване на ефективността на изследваните методи.
4. Предложено е системно решение и подход за производството на малки серии детайли и изделия с универсален инструмент и скъсен срок на внедряване.
5. Предложена е методика за изследване на производителността при финална обработка, чрез предложената от автора величина  $S_f$ , определяща производителността.

6. Разработена е методика за количествена оценка при прилагането на даден материал във формообразуващите инструменти, като се отчитат характеристиките и цената му, в зависимост от материала на шприцвания детайл чрез изведената от автора величина  $C_{vi}$ .

#### **Приложни приноси:**

1. Доказано е, че бързите инструменти, изработвани чрез конвенционални технологии, са икономически изгодни и могат да конкурират успешно инструментите, изработвани чрез разгледаните алтернативни методи.

2. Извършена е икономическа оценка и са изведени правила за прилагането на инструменталните материали за изработване на формообразуващите елементи за бързи формообразуващи инструменти.

3. В съответствие с разработената стратегия и методология за бързи формообразуващи инструменти е проектиран и е изработен реален универсален инструмент със сменяеми формообразуващи детайли.

4. Разработена е методология за използване на гореспоменатия инструмент. Методологията за работа с него е апробирана в производствени условия.

5. Направена е систематизация и са изведени правила относно прилагането на бързи формообразуващи инструменти, изработвани с конвенционални методи.

6. Предложено е решение за странично шприцване на пластмасови изделия с бързи формообразуващи инструменти.

#### **ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

1. Georgi Todorov, Yavor Sofronov, Todor Gavrilo, Angel Todorov, Ivan Ivanov, Strategy for Shortened Manufacturing cycle of mold tool in extremely short terms, September 2020, Conference: 2020 XXX International Scientific Symposium 'Metrology and Metrology Assurance (MMA), DOI:10.1109/MMA49863.2020.9254249

2. Blagovest Bankov, Todor Todorov, Yavor Sofronov, Ivan Ivanov, A multi-step approach for analyzing the number of polymer injection molding gate spots and their position in T-RTM technology, Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia, Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference. Volume III, 20-23

3. Todor Todorov, Georgi Todorov, Ivan Ivanov, Enhanced Efficiency in Two-Component Injection Molding Product for Automotive Applications, Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia, Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference.

4. Иван Иванов, Анализ на иновативни методи за формоване на кухини в отливки ляти под високо налягане, PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA, ISSN: 2738-8549, 2738-8530 VOL. 74, NO. 2, YEAR 2024

5. Todor Gavrilo, Georgi Todorov, Ivan Ivanov, Mihail Zagorski, Reverse Engineering for Determining Residual Workpiece Geometry in Milling Process, Journal of the Technical University Sofi

## SUMMARY

Rapid manufacturing and validation of quality indicators of forming tools  
MEng. Ivan Ivanov

This dissertation is dedicated to the development and validation of a strategy and methodology for the design and production of rapid tooling (RT) using conventional technologies. The research focuses on optimizing manufacturing processes, aiming to reduce production time and costs without compromising the quality of the tools.

Throughout the study, the factors influencing the production and application of RT have been systematized and evaluated. A comparative analysis between conventional and specialized manufacturing methods has been executed, highlighting the advantages and disadvantages of each approach. A lifecycle analysis strategy for RT has been developed, emphasizing their efficiency and cost-effectiveness in an industrial environment.

The scientific contribution of this thesis includes the proposal of an innovative methodology for RT design, based on technical and economic factor analysis. Constructive solutions and material optimizations have been developed to enhance the efficiency of tooling equipment. As a result, a real universal tool with interchangeable forming elements has been created, and its applicability has been verified under production conditions.

The practical application of the developed strategies and methods has been confirmed through industrial experiments and economic analyses. It has been demonstrated that the use of conventional technologies for RT production can significantly reduce manufacturing costs and time, making them competitive with alternative methods.

The research findings are applicable in industrial production, providing effective solutions for the rapid and cost-efficient development of forming tools. They can also serve as a foundation for future developments and optimizations in the field of tooling manufacturing. Part of the research has been conducted in collaboration with "Arexim Engineering" AD, utilizing best practices and the expertise of "Soltoform EOOD."