

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ГАБРОВО

Факултет: „Машиностроене и уредостроене“

Катедра: „Машиностроителна техника и технологии“

инж. ГЕОРГИ ВЕСЕЛИНОВ КАРЛОВСКИ

**Изследване на параметрите на процеса струговане
при работа с бързосменни инструментодържачи**

АВТОРЕФЕРАТ

**за придобиване на образователна и научна степен
„ДОКТОР“**

Област на висшето образование: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1. Машинно инженерство

Докторска програма: Рязане на материалите и режещи инструменти

Научен ръководител

Проф. д-р инж. Ирина Стефанова Александрова

юли, 2025г.

Габрово

Дисертационният труд е обсъден и насочен за официална защита на заседание на Разширен катедрен съвет на катедра „Машиностроителна техника и технологии“ към факултет „Машиностроене и уредостроене“ на Технически университет – Габрово, проведен на 04.07.2025 г.

Дисертационният труд съдържа 113 страници и приложение. Научното съдържание е представено в увод, 4 глави и заключение и включва 59 фигури, 16 таблици и 1 приложение. Цитирани са 138 литературни източника. Номерацията на фигурите, таблиците и формулите в автореферата е в съответствие с тази в дисертацията.

Разработката/изследванията на/по дисертационния труд е/са извършена/и в катедра „Машиностроителна техника и технологии“ към факултет „Машиностроене и уредостроене“ на Технически университет – Габрово и във фирма „АДТЕХ“ ЕООД гр. Габрово

Официалната защита на дисертационния труд ще се състои на от ч. в Заседателна зала, сграда Ректорат на Технически университет – Габрово.

Автор: инж. Георги Веселинов Карловски

e-mail: g_karlovski@abv.bg

Заглавие: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ПРОЦЕСА СТРУГОВАНЕ ПРИ РАБОТА С БЪРЗОСМЕННИ ИНСТРУМЕНТОДЪРЖАЧИ

Тираж: 3 бр.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

През последните години специализираните машини за извършване на дадена технологична операция в редица цехове отстъпват място на многофункционалните обработващи центри, които позволяват последователното и дори едновременно изпълнение на различни процеси, като фрезование, пробиване, струговане, разстъргване, шлифование, полиране с едно захващане и на една установка. Модерните машини с ЦПУ са оборудвани с автоматизирани магазини с по над 100 инструмента, чиято смяна трябва да се случва буквално за секунди.

Освен във функционалния инструментариум на оборудването множество нови разработки се отчитат при инструменталната екипировка – материалите, геометриите и покритията. Използването на инструменти с диамантен връх значително подобрява крайното качество на повърхностите и точността на обработваните с ЦПУ детайли, особено при работа с твърди и трудно обработваеми метали като неръждаема стомана и титан. Множество иновации се наблюдават и при смазочно-охлаждащите течности от ново поколение, които оптимизират обработката чрез намаляване на генерираната топлина и износването, като в допълнение спомагат за по-високо качество на крайното изделие.

Сред най-ключовите за пазарния ръст в сегмента фактори са иновациите в машиностроенето, които включват освен иновации в софтуера за проектиране и програмиране, така и иновативни решения и при технологичната екипировка на машините (режещи и спомагателни инструменти и приспособления). В тази връзка в настоящата разработка се предлага иновативна конструкция на универсален инструментодържач, чрез който да се подобри ефективността на технологичният процес при обработване на ротационни детайли на CNC стругове швейцарски тип.

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационната работа е да се оптимизира режима на рязане при струговане върху CNC машини с иновативна конструкция бързосменен инструментодържач.

За изпълнение на поставената цел е необходимо да се решат следните основни задачи:

1. *Да се разработи бързосменен инструментодържач за CNC стругови машини.*
2. *Да се проведе сравнително изследване на параметрите (средна грапавост - Ra и трайност) на процеса CNC струговане при обработване с монолитен инструментодържач и със създадения иновативен бързосменен държач.*
3. *Да се изследва влиянието на смазочно-охлаждащата течност подавана през тялото на иновативния бързосменен държач върху средната грапавост на обработваните повърхнини.*
4. *Да се оптимизират условията на рязане при CNC струговане при използване на иновативния бързосменен инструментодържач.*

Методи на изследване

Представените в работата изследвания са осъществени със съвременни и адекватни за решаване на поставените задачи методи и технически средства. Приложени са методи за моделиране, статистическа обработка и анализ на експерименталните резултати, планиране на експериментите и оптимизиране посредством специализиран софтуер.

Научна новост

Научната новост се заключава в:

- Разработване на иновационна конструкция бързосменен инструментодържач;
- Построяване на графични зависимости на сравнителни изследвания на средната грапавост на обработваните повърхнини и трайността на инструмента при струговане със

стандартен (монолитен) държач и със създадената иновативна конструкция бързосменен държач.

□ Построяване на математични модели за влиянието на скоростта на рязане и подаването върху средната грапавост и трайността на режещата пластина при използване на иновативната конструкция инструментодържач.

Приложимост

□ На база разработената иновативна конструкция бързосменен инструментодържач са изработени инструменти и са направени промишлени изпитания при обработване на лагерни гривни.

□ Определени са оптималните комбинации от скорост на рязане и подаване при които се получава минимална средна грапавост и максимална трайност на инструментите.

Апробация на дисертационния труд

Дисертационната работа е докладвана и обсъждана на разширено заседание на катедра “Машиностроителна техника и технологии“ при ТУ–Габрово.

Етапи от дисертационната работа са обсъждани и публикувани в:

- International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance“, 2022 и 2023 г.;
- Списание „Автоматизация на дискретното производство“ 2023 г.;

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е съставен от: съдържание, приети означения и съкращения, въведение, 4 глави, заключение, класификация на приносите, списък на публикации по дисертацията, използвана литература и приложение, в общ обем 124 стр., в които са поместени текст, формули, 59 фигури и графики и 16 таблици.

Литературата обхваща 80 заглавия (статии, доклади, книги, учебници, дисертации, справочници и каталози, стандарти) и 58 интернет сайтове. От литературните източници 47 са на латиница.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава първа: Струговане върху CNC машини – състояние на проблема и анализ на съществуващите технологични решения

Навлизането през последните години на изискванията на „Индустрия 4.0“ и „Индустрия 5.0“ за осигуряването на висококачествен продукт в машиностроенето, налага необходимостта от непрекъснато подобряване на техническото и организационното ниво на фирмите. Това се постига чрез въвеждането на съвременни производствени и технологични системи, базирани на международни стандарти и по-специално ISO 9000.

Повишаването на производителността и гъвкавостта на технологичните процеси се постига чрез използването на съвременни CNC машини, обработващи центри и гъвкави производствени модули, които могат да се комбинират в гъвкави автоматизирани производствени системи, както и чрез прилагане на инструментална екипировка (комплекс от режещи и спомагателни инструменти), което осигурява:

- *намаляване на загубата на време за установяване и смяна на режещия инструмент чрез опростяване на елементите на закрепване на инструментите и създаване на бързосменяеми инструменти, както и чрез механизми, осигуряващи автоматична смяна на режещия инструмент по време на празен ход;*
- *намаляване на загубата на време за регулиране на режещия инструмент на машината, което се постига чрез създаване на режещи инструменти с регулируеми размери извън машината;*

- *намаляване на не планирания престой на оборудването чрез използване на устройства, сигнализиращи за екстремно износване и счупване на режещия инструмент, както и устройства за кинематично раздробяване на стружките*

За решаване на проблемите, свързани с качеството при обработване върху CNC металообработващи машини е важно да се гарантира точността и стабилността на технологичните процеси, което в голяма степен зависи от вида на използваните режещи и спомагателни инструменти.

Режещите инструменти за CNC металообработващите машини трябва да удовлетворяват следните изисквания :

- *стабилни режещи свойства;*
- *добро стружко образуване и отвеждане;*
- *осигуряване на зададената точност;*
- *универсалност при използване на типови обработвани повърхнини от различни детайли на различни модели машини;*
- *бързо сменяемост при пренастройване за друг обработван детайл или след износване;*
- *възможност за предварително настройване на размер извън машината и др.*

Спомагателните инструменти трябва да отговарят на следните изисквания;

- *номенклатурата и стойността им да са сведени до икономически обоснован минимум;*
- *установяването на режещите инструменти към тях да осигурява необходимата точност и стабилност;*
- *при необходимост да осигуряват възможност за регулиране положението на режещите ръбове на инструмента;*
- *да са удобни за обслужване и технологични за изработване.*

Многообразието от методи за оптимизиране процеса струговане върху CNC металорежещи машини основно се разделя на две основни групи – конвенционални и неконвенционални.

Параметрите оказващи влияние върху оптимизацията на процеса струговане оформят четири основни групи – свойства на режещия инструмент, параметри на металорежещата машина, свойства на обработвания материал и условия на рязане. Най-често като входни величини при оптимизирането на процеса се използват скоростта на рязане и скоростта на подаване.

От приведените литературни данни. се вижда, че при работа на CNC стругове се използват както стандартни, така и бързосменни държачи с различен дизайн. Има редица изследвания върху точността и грапавостта на обработените повърхности, дълготрайността на режещия инструмент, производителността и себестойността на процеса на струговане, реализиран с различни режещи и спомагателни инструменти. Липсват обаче сравнителни изследвания за параметрите на процеса на струговане при използване на стандартни и бързосменяеми държачи, както и препоръки за избор на държач за инструменти за обработка на материали с различни физико-механични свойства.

Глава втора: Конструирание на бързосменен държач

2.1. Системи за бързо закрепване на инструменти при CNC стругове

Когато се избира спомагателен инструмент, трябва да се търси намаляване на времето за престоя на машината. Бързосменните държачи за инструменти намаляват времето за настройка и смяна на инструментите, което води до значително увеличаване на времето за ефективно използване на машините.

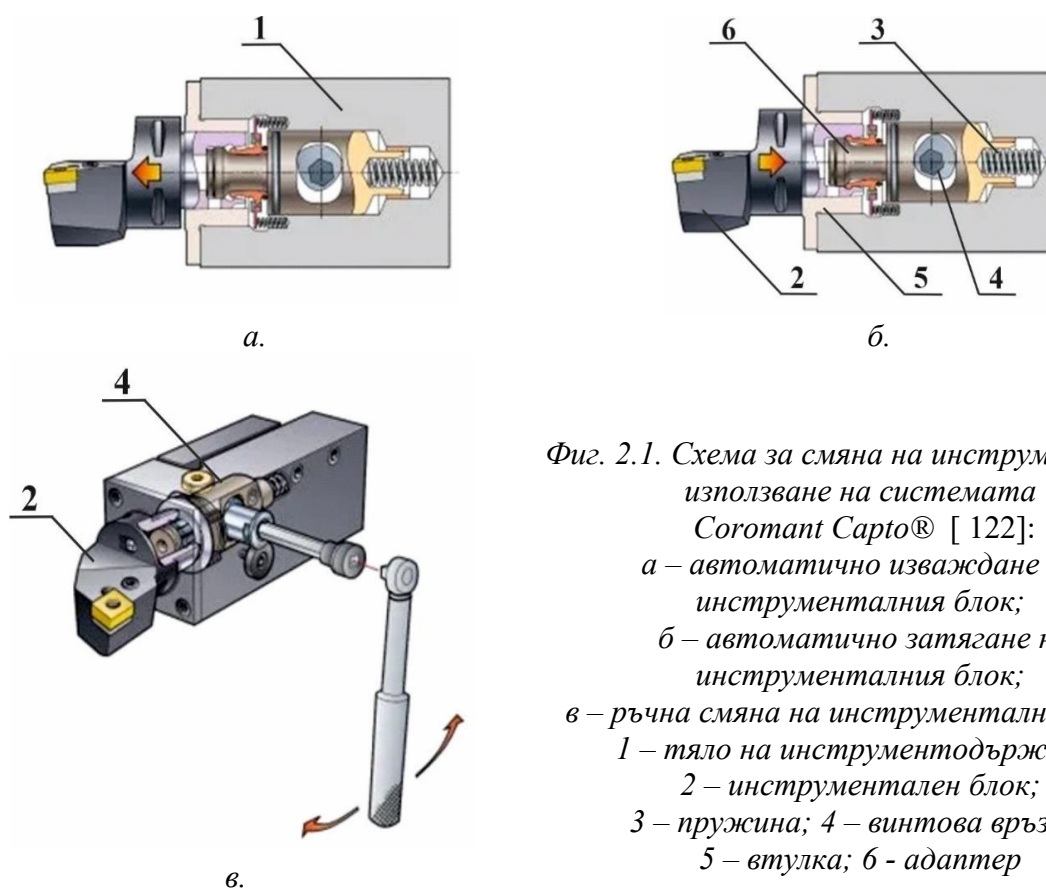
От информацията в литературата се констатира, че основна част на инструменталната екипировка на CNC струговете се явява инструментодържача. През последните години в

практиката навлизат нови конструкции бързосменни държачи за металоурежещи инструменти. С тези системи за бърза смяна на инструменти може значително да се увеличи използването на машината, като се намали времето, изразходвано за измерване, настройване и смяна на инструменти.

Към настоящия момент водещи фирми в доставката и проектирането на модулни бързосменяеми държачи за инструменти са: Kennemetal, Widia krupp, Sandvik Coromant Capto, Valter, Hainz Kaizer и др.

Coromant Capto® е модулна система за бърза смяна на инструменти - фиг. 2.1, която увеличава максимално използването на машината и ефективността при рязане. Предимствата ѝ са:

- *Затягане със сегментна цанга – Задвижваната от разпределителния вал връзка се използва както за заключване на съединението, закрепено със сегментна цанга, така и за избутване на режещата глава навън. За ръчно заключване и отключване на инструменталния блок е необходимо само завъртане – фиг. 2.1 в. Самозаклучващият се гърбичен механизъм предотвратява разхлабването на инструмента по време на обработка.*



Фиг. 2.1. Схема за смяна на инструмента при използване на системата Coromant Capto® [122]:

а – автоматично изваждане на инструменталния блок;

б – автоматично затягане на инструменталния блок;

в – ръчна смяна на инструменталния блок.

1 – тяло на инструментодържача;

2 – инструментален блок;

3 – пружина; 4 – винтова връзка;

5 – втулка; 6 – адаптер

- *Повторяемост - Високопрецизният и само центриращ се дизайн на връзката осигурява повтаряща се точност ($\pm 2 \mu\text{m}$) по осите x, y и z за една и съща режеща глава в същия държач. Това позволява предварително настройване извън машината за големи партии детайли или да се използва магазин с инструменти при смяна на партидата, при което се елиминира необходимостта от измервателни операции, постига се по-бързо стартиране и по-малко отхвърляне.*

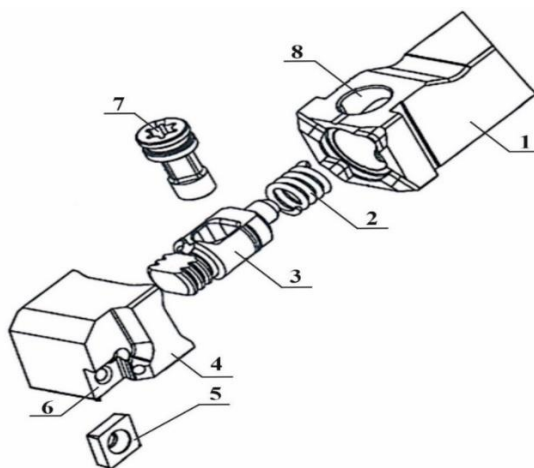
- *Повишена стабилност - Стабилността се характеризира с предавания въртящ момент. Основните свойства, които осигуряват отлична стабилност, са:*

- ✓ *Контакт с лице и конус: издържаша на моменти на огъване и осигурява точност на позициониране;*
- ✓ *Многоъгълна връзка: голямата контактна площ позволява предаване на въртящия момент без допълнителни части като щифтове или ключове. В този случай натоварването се разпределя равномерно независимо от посоката, а самоцентрирането на многоъгълния профил гарантира точното положение на режещия ръб спрямо височината на оста на машинните центрове;*
- ✓ *Голямо усилие на затягане: Затягането със сегментирана цанга генерира голяма сила на затягане, осигурявайки интерферентно прилягане и контакт в две равнини, което увеличава устойчивостта на огъващ момент, генериран по време на рязане.*

Представените системи за бърза смяна на инструментите на фирма Coromant Capto може да се използват на всички видове машини: многовретенни стругове, обработващи центри и др. Бързосменните държачи на фирмата се предлагат в шест размера, за да отговарят на всяко приложение: C3-C10, с диаметри на фланеца от 32, 40, 50, 63, 80 и 100 mm.

Вътрешната охлаждаща течност гарантира, че пълният потенциал на машината се използва с оптимизирани инструменти и максимален контрол на стружообразуването. Увеличеният брой позиции на инструмента с двупозиционни инструментални блокове позволява блокът да се използва за обработване на външни и вътрешни повърхнини.

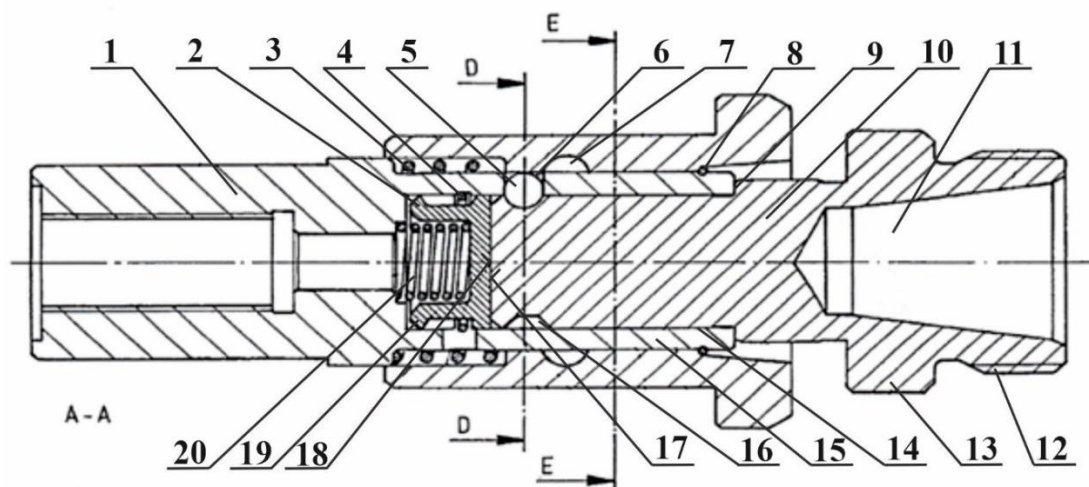
На фиг. 2.2 е представява нова конструкция на бързосменен държач, изграден от модулни елементи със затягащ механизъм (Патент на ISCAR WO 2013/018087 A3) [104]. Модулната част на държача включва два основни модула: заден - поз. 1 и преден – поз. 4. Свързването им се осъществява чрез сферични повърхнини с четири изпъкнали и четири вдлъбнати точки. В отвора на тяло 1 е поставена пружина 2, а в отвора на ножовата глава 4 чрез винтово съединение е прикрепен свързващият елемент 3. Към режещата глава в гнездо (поз. 6) е закрепена твърдосплавна пластина (поз. 5) чрез винтова връзка. Ножовата глава се фиксира към тялото на държача чрез винтово съединение 7, реализирано в отвора на държача 8.



Фиг. 2.2. Схема на бързосменен ножодържач ISCAR WO [104]

Наред с предимствата на тази конструкция, е налице и един съществен недостатък – системата е сложна и многокомпонентна. С времето пружината губи еластичността си, което води до нарушаване на работните свойства на държача. Това прави практическото приложение на конструкцията ефективно само при процеса струговане.

Бързосменните ножодържачи от системата SCHNEIDER – фиг. 2.3, са намерили сравнително широко разпространение в практиката [135]. Те са базирани на затягане чрез стопорен винт под ъгъл спрямо главната ос на инструмента и държача.



Фиг.2.3. Схема на бързосменен ножодържач SCHNEIDER [135]

- 1 – корпус; 2 – дивтулка; 3 – външна пружина; 4 – „О“ пръстен;
 5 – стопорен винт; 6 – смазочен отвор; 7 – втулка външна;
 8 – присъединяващ конус адаптер; 9- контактна повърхнина;
 10 – тяло на адаптер; 11 – конус присъединителен инструмент;
 12 – резба присъединителна; 13- работна част на адаптера;
 14 – втулка присъединителна; 15 – преходна втулка; 16 – канал стопорен; 17, 18 –
 контактни повърхнини; 19 – пружина; 20 – уплътнение

При най-малкия типоразмер на държача, при винт М5 и момент на затягане 3 Nm, се осигурява устойчива работа на режещия ръб. Това затягане има два недостатъка;

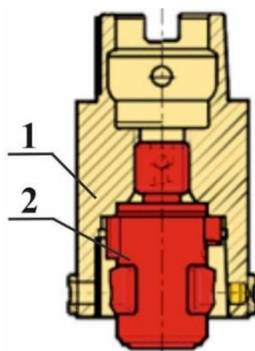
- *затягащото усилие не е симетрично спрямо главната ос, поради което винтът се разполага върху най-благоприятната страна;*
- *при необходимото усилие на затягане, винтът М5 е натоварен значително, което налага необходимостта от използване на високоякостни материали.*

Този вариант на бързосменен държач е приложим само за инструменти с ротационна форма на опашката или за процесите свредловане, зенкерование и фрезование.

Основен недостатък на конструкцията е прекалената ѝ сложност, което води до висока себестойност на крайното изделие и невъзможност за директно подаване на охлаждаща течност в зоната на рязане.

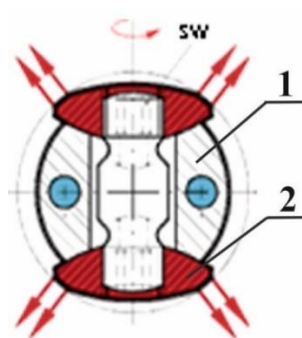
На фиг. 2.4 е представена схема на касета с четириточково затягане на бързосменяеми инструменти, в която усилието на затягане се предава в перпендикулярно направление чрез конусна повърхност – фиг. 2.5.

Усилието на затягане се осигурява от две челюсти с фаски откъм контактната страна. Челюстите се преместват радиално на касетата от ядро, на което от едната страна има лява резба, а от другата - дясна. При отвиване и завиване на ядрото челюстите се раздалечават (затягане) и се приближават (освобождаване). Това затягане е симетрично спрямо главната ос. Необходимият момент на затягане за винт М5 за най-малкия типоразмер на обработвания инструмент е два пъти по-малък – 1,5 Nm, в сравнение със системата представена на фиг.2.3.



а.

Фиг.2.4. Бързосменен държач с нетриточково затягане
1 – държач; 2 – адаптер [88]



б.

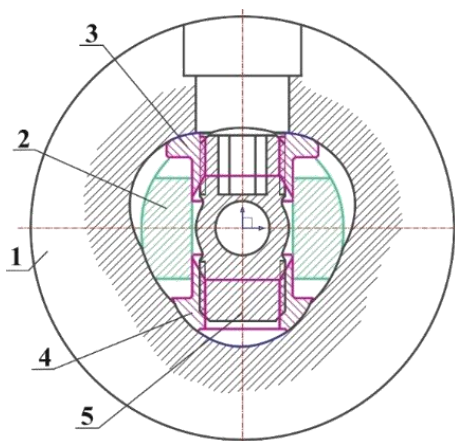
Фиг.2.5. Схема на четириточково затягане: 1 – корпус; 2 – челюсти [88]

Недостатък на 4-точковото затягане е, че за да се осигури равномерно усилие в 4-те точки, е наложително между направляващите, резбите на ядрото и челюстите да има известна хлабина. Ако конструкцията не предвижда хлабини, то е необходима висока точност на изработване на елементите на сглобената единица, за да се осигури сравнително равномерно разпределение на усилието на затягане.

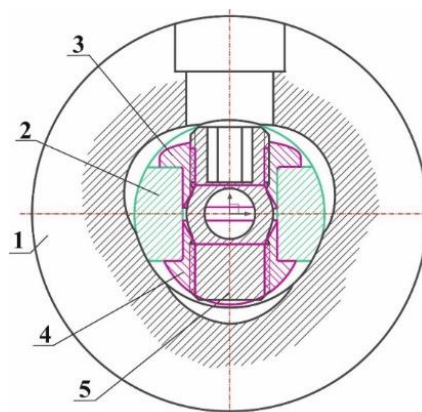
2.2. Иновативна конструкция за бързосменен държач

Разгледаните в т. 2.1. схеми на бързосменни държачи за CNC стругове притежават един основен недостатък - характеризират се с много сложна конструкция и сложна изработка. В повечето от предлаганите варианти няма възможност за подаване на охлаждаща течност в зоната на рязане. Всичко това води до по-висока себестойност, а оттам и до висока цена на крайното изделие.

На база на натрупаната информация е разработена нова иновативна система на затягащ механизъм за бързосменяемо закрепване на металоурежещи инструменти. – фиг. 2.6. Тя се базира на известните системи с полигонален профил, представена в EP0294348 [106]. Системата включва държач, в базовото чело на който е оформен стъпаловиден отвор с цилиндричен и профилен участък и модулна глава.



а.



б.

Фиг. 2.6. Схема на затягащ механизъм за бързосменно закрепване на металоурежещи инструменти: а – в затегнато положение (работно положение);

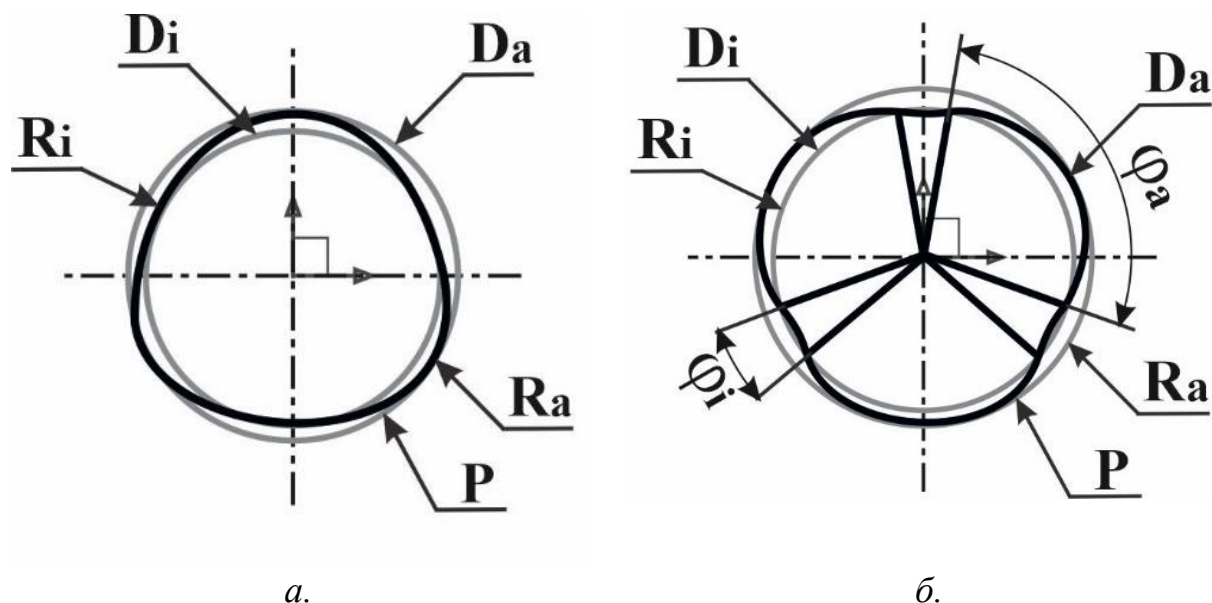
б – с прибрани упори за смяна на инструмент

1 – инструментална модулна глава; 2 – вътрешен носач;

3 – упор с две опорни радиусни повърхнини;

4 – упор с една опорна радиусна повърхнина; 5 – ядро.

При иновативната конструкция модулната глава е присъединена към държача, като стъпаловидният присъединителен елемент на модулната глава е монтиран с хлабина в стъпален отвор на държача, така че цилиндричният участък на стъпалния присъединителен елемент е разположен в цилиндричния участък на стъпалния отвор, а профилният участък на стъпалния присъединителен елемент е разположен в профилния участък на стъпалния отвор. Формата на профилния участък на държача съответства на формата на профилния участък на модулната глава. Той има форма на вдлъбнат полигонален конус, а профилният участък на модулната глава - форма на изпъкнал полигонален конус. Всеки от профилните участъци има конусни повърхнини с три външни радиуса R_a и три вътрешни радиуса R_i – фиг. 2.7.



Фиг. 2.7. Схема на профила на вала (а) и отвора (б) на затягащото устройство

Напречното сечение на всеки от профилните участъци, съответно на държача и на модулната глава, има полигонален профил тип “Capto” по ISO 26623:2014, като проектната основа на полигоналния профил е съгласно DIN 32711. Контактната повърхнина, която понася натоварването от въртящия момент, осигурява устойчивост на смачкване, но рамото на прилагане на равнодействащата сила на въртящия момент е по-късо, което води до увеличено напрежение на усукване.

Разработеният затягащ механизъм за бързосменяемо закрепване на инструменти – фиг. 2.6, включва инструментална модулна глава 1, в която е оформен централен отвор с три вдлъбнати радиусни повърхнини, разположени през 120° . В централния отвор е поместен вътрешен носач 2 с оформени в него изрези за монтиране на упори. В единия край на носача 2 е монтиран упор 3 с две опорни радиусни повърхнини и срещуположно на него - втори упор 4 с една опорна радиусна повърхнина. Дължината на вдлъбнатините от централния отвор съответства на дължината на упорите 3 и 4. Упорът 3 от задната страна е с оформена фаска и има изработена вътрешна дясна резба, а от задната страна на втория упор 4 е оформена фаска и има изработена вътрешна лява резба, при което упорите 3 и 4 са установени на ядро 5, поместено в централния отвор на инструменталната модулна глава 1. На ядрото 5 от едната му страна е оформена външна дясна резба, съответстваща на резбата на упора 3 с двете опорни радиусни повърхнини, а от другата му страна е оформена външна лява резба, съответстваща на резбата на втория упор 4 с една опорна радиусна повърхнина, а от страната на дясната резба на ядрото 5 има изработен челен вътрешен шестостенен отвор за съответен ключ за затягане.

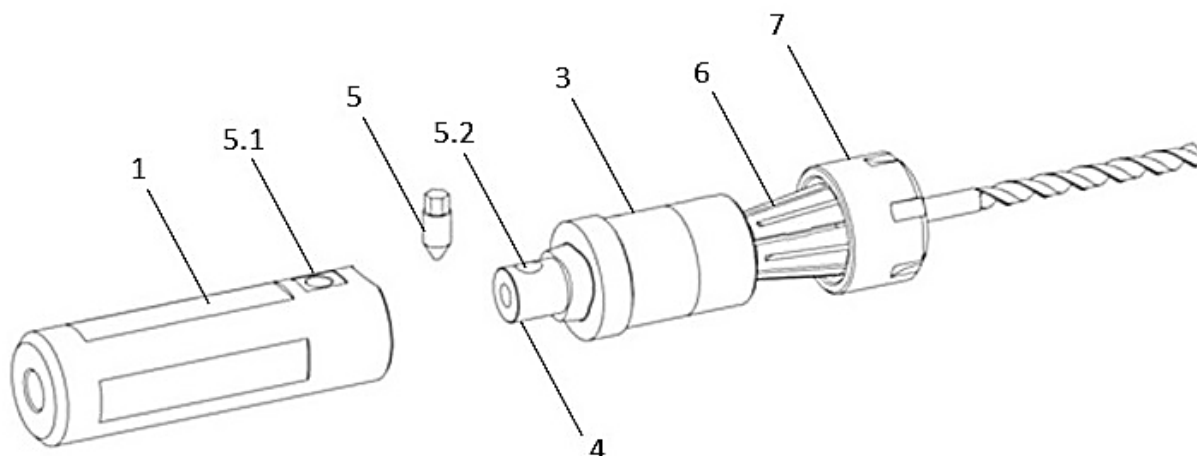
При механична обработка на метални заготовки затягащият механизъм за бързосменяемо закрепване на инструменти е подложен на различни по направление и

големина сили на рязане. Те предизвикват реакции, които се пренасят в неговото закрепване и по-специално върху затягащия му механизъм. В разработения затягащ механизъм усилието на затягане се предава в перпендикулярно направление чрез конусна повърхност, но затягащото усилие се прилага в три осо симетрични точки. Формирането на това затягане в три точки се осъществява благодарение на наличието на двата упора 3 и 4. Упорът 3 е с два опорни радиуса, а вторият срещуположен упор 4 е с един опорен радиус, чрез които усилието на затягане се прилага в три точки и се разпределя равномерно спрямо централната ос на инструменталната модулна глава 1.

Разработената иновативна система за бързосменяемо закрепване на инструменти е приложена в инструментална система, която е представена в 3D изображение на фиг. 2.8 ÷ 2.10. Тя включва държач 1 и модулна глава 3.

- Държачът 1 има околна повърхнина и базово чело, като в базовото чело е оформен стъпаловиден отвор 2 с цилиндричен участък 2.1 и профилен участък 2.2 – фиг.2.9.б.
- Модулната глава 3 има околна повърхнина, работна повърхнина и базово чело, при което на базовото чело е оформен стъпаловиден присъединителен елемент 4 с цилиндричен участък 4.1 и профилен участък 4.2 - фиг.2.9.а.

Модулната глава е присъединена към държача 1, като стъпалният присъединителен елемент 4 на модулната глава-3 е монтиран с хлабина в стъпаловидния отвор 2 на държача. По-специално цилиндричният участък 4.1 на стъпаловидния присъединителен елемент 4 е разположен в цилиндричния участък 2.1 на стъпаловидния отвор 2, а профилният участък 4.2 на стъпаловидния присъединителен елемент 4 - в профилния участък 2.2 на стъпаловидния отвор 2.



Фиг.2.8. Схема на иновативното решение за инструментален модул

1 – държач; 3 – модулна глава;

4 – стъпаловиден присъединителен елемент на модулната глава;

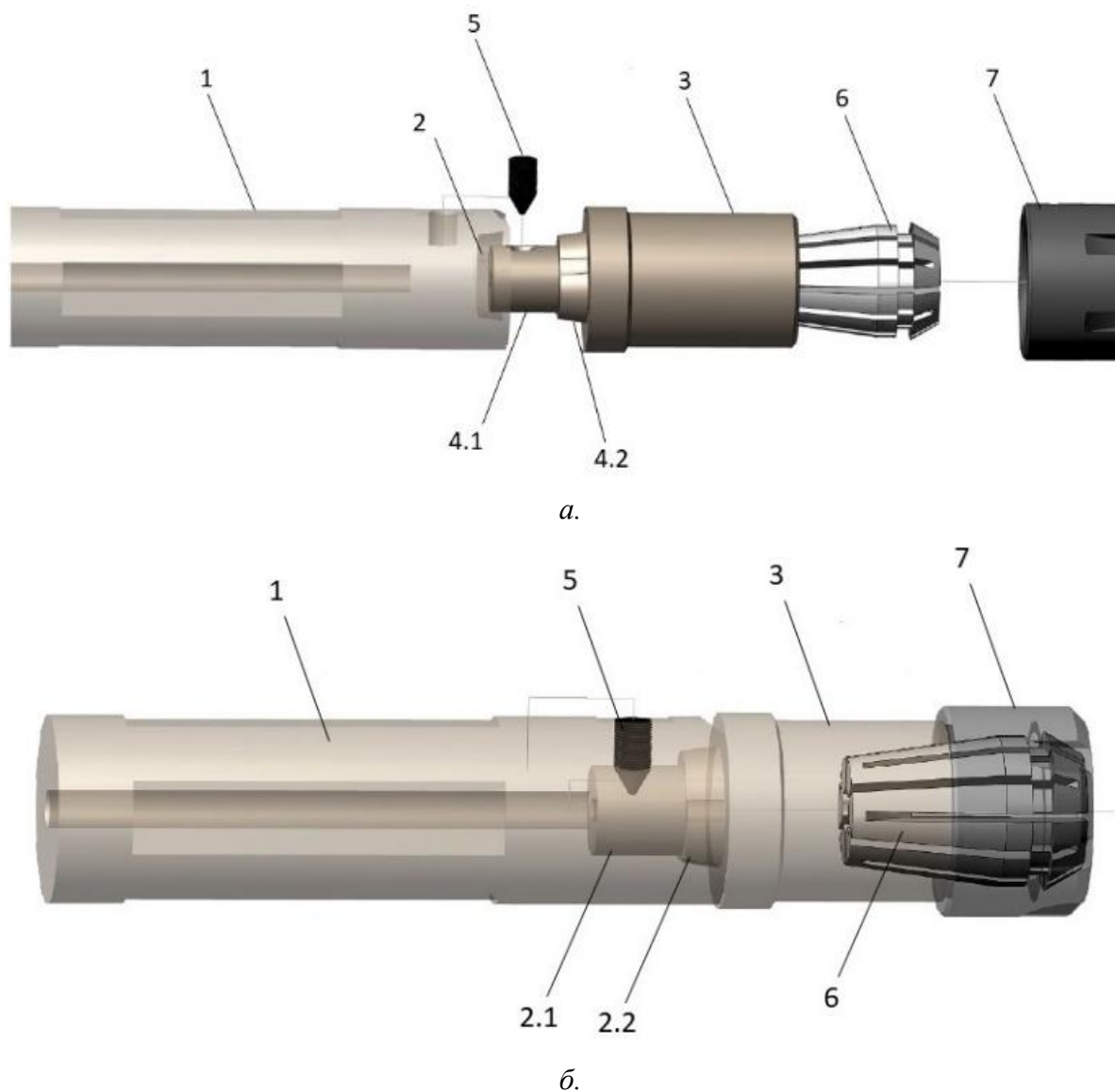
5 – стопорен винт; 5.1 и 5.2 – отвори за стопорния винт; 6 – цанга;

7 – присъединителна гайка

Профилният участък 2.2 на държача 1 има форма на вдлъбнат епитрохоидален конус, а профилният участък 4.2 на модулната глава 3 - форма на изпъкнал епитрохоидален конус. Формата на профилния участък 2.2 на държача 1 съответства на формата на профилния участък 4.2 на модулната глава 3. Формата на напречното сечение на всеки от профилните участъци 2.2, 4.2, съответно на държача 1 и на модулната глава 3, е тип детелина (фиг. 2.7.б). Профилните участъци 2.2, 4.2 от своя страна имат конусни повърхнини (три изпъкнали и три вдлъбнати) с три външни радиуса R_a и три вътрешни радиуса R_i . Външните радиуси R_a са по-

големи от вътрешните радиуси R_i , като вътрешните радиуси R_i имат по-малък централен ъгъл φ_i спрямо централния ъгъл φ_a на външните радиуси R_a – фиг.2.7.б.

В околната повърхнина на държача 1 е оформен проходен резбови отвор 5.1 за поставяне на стопорен винт 5 с конусен връх, който има възможност за стягане в допълнителен конусен отвор 5.2, оформен в цилиндричния участък 4.1 на стъпаловидния присъединителен елемент 4.



Фиг.2.9. 3D модел на предлаганата иновативна система за бързосменящ се държач при вариант с цилиндрична форма на държача и модулната глава

а – в процес на присъединяване;

б– при работно положение с монтиран присъединителен винт;

1 – държач; 2 – стъпаловиден отвор на държача;

2.1. – профилен участък на присъединителния елемент на модулната глава; 2.2 – профилен участък на държача; 3 – модулна глава;

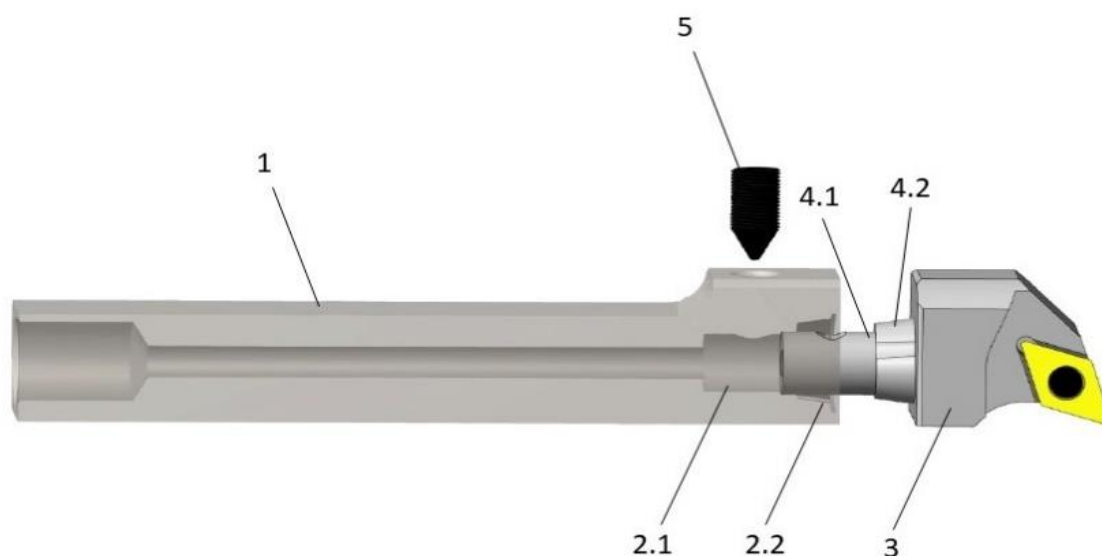
4 – стъпаловиден присъединителен елемент на модулната глава;

4.1 – цилиндричен участък на присъединителната глава;

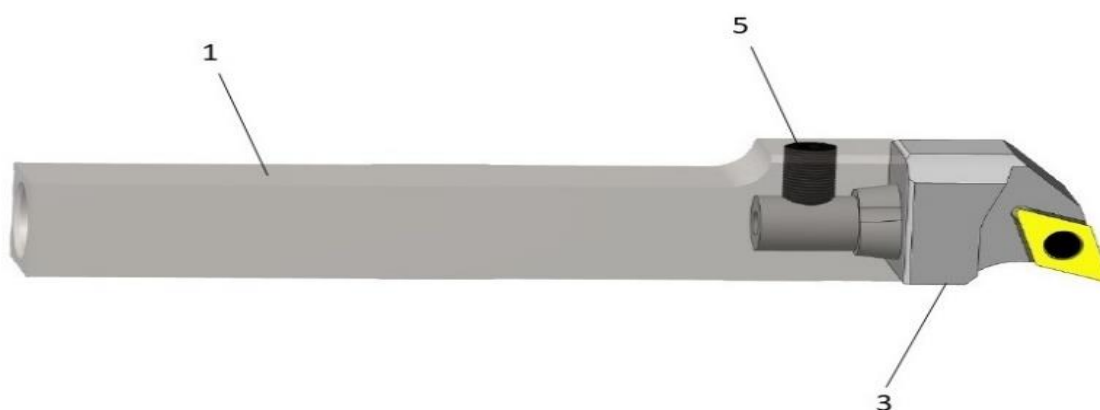
4.2 – профилен участък на присъединителната глава;

5 – стопорен винт; 6 – цанга; 7 – присъединителна гайка;

8 – канал за подаване на смазочно - охлаждаща течност.



а.



б.

Фиг. 2.10. 3D модел на предлаганата иновативна система за бързосменящ се държач с призматична форма на държача и модулната глава

а – в процес на присъединяване;

б – при работно положение с монтиран присъединителен винт;

1 – държач; 2 – стъпаловиден отвор на държача;

2.1. – профилен участък на присъединителния елемент на модулната глава; 2.2 – профилен участък на държача; 3 – модулна глава;

4 – стъпаловиден присъединителен елемент на модулната глава;

4.1 – цилиндричен участък на присъединителната глава;

4.2 – профилен участък на присъединителната глава;

5 – стопорен винт; 6 – цанга; 7 – присъединителна гайка;

8 – канал за подаване на смазочно охлаждаща течност.

Разработени са два варианта на системата за бързосменяемо закрепване на инструменти, различаващи се по формата на държача и модулната глава. В първия вариант – фиг. 2.9 а, държачът 1 и модулната глава 3 имат цилиндрична форма. В работната повърхнина на модулната глава 3 е оформен конусен отвор, който има възможност за присъединяване на

цанга 6. По околната повърхнина на модулната глава 3, откъм работната повърхнина, е оформена цилиндрична метрична резба, която дава възможност за затягане на гайка 7. Във втория вариант изпълнение на системата за бързосменяемо закрепване на инструменти - фиг. 2.10, държачът 1 и модулната глава 3 имат призматична форма. Работната повърхнина на модулната глава 3 е оформена така, че има възможност за закрепване на инструмент за струговане.

Анализът и сравнението между представеното иновативно техническо решение на система за бързосменяемо закрепване на инструменти и известните системи с полигонален профил, каквато е представената в EP0294348 [106], показват, че те се изработват от материал с едни и същи якостни свойства и твърдост след термообработка и имат съизмерими габаритни размери. Устойчивостта под въздействие на въртящия момент се понася от три радиуса на профила, като образуващата по тези радиуси е с един и същ наклон, което прави конусните повърхнини на двете системи за закрепване сходни.

Разработената иновативна система за бързосменяемо закрепване на инструменти се различава съществено от стандартните системи с полигонален профил, което е резултат от начина, по който се присъединява модулната глава към държача:

- *При полигоналния профил контактната повърхнина, която понася натоварването от въртящия момент, е по-голяма, което осигурява по-голяма устойчивост на смачкване, но рамото на прилагане на равнодействащата на въртящия момент сила е по-късо. Това води до по-големи напрежения на усукване. При епитрохоидалния профил контактната повърхнина е по-малка. Това води до по-ниска устойчивост на смачкване, но натоварването от въртящия момент на усукване е по-малко, тъй като рамото на прилагане на въртящия момент е по-голямо.*
- *Големината на контактното петно между инструменталния модул и държача до голяма степен зависи от хлабината между конусните повърхнини на модулната глава и конусните повърхнини на държача. Тази хлабина е задължителна, за да бъде съединението бързосменяемо при осигуряване на самоцентриране. За да бъде прецизирана, сглобката на полигоналния профил налага по-висока точност на изпълнението (g_6/H_6). Това от своя страна води до високи изисквания на взаимното разположение на конусните повърхнини за всеки елемент от системата на закрепване. Отсъствието на изпъкнали свързващи конуси при епитрохоидалния профил е технологично преимущество. От вдлъбнатите конусни повърхнини не се изисква прецизен контакт между модулната глава и държача, т.е. това дава по-голяма свобода при точността на изпълнение и възможност да бъде осигурено добро контактното петно дори и при сглобка с хлабина (g_6/H_7).*
- *Най-голямото технологично преимущество на епитрохоидалния профил се състои в това, че взаимното разположение на конусните повърхнини се прецизира само между три ососиметрични конуса, а не между шест, както е при полигоналния профил.*

2.3.Практическа реализация на разработката

Разработената система за бързосменяемо закрепване на инструменти може да се използва за закрепване на инструменти както с ротационна, така и с призматична съединителна част.

При закрепване на инструменти с цилиндрична опашка цилиндричният участък 4.1 на модулната глава 3 влиза в цилиндричния участък 2.1 със съответен диаметър в държача 1. С това се постига съвмествяване на главните оси на модулната глава 3 и държача 1. Изпъкналият епитрохоидален конус на модулната глава 3 се ориентира във вдлъбнатия епитрохоидален конус на държача 1, така че проходният резбови отвор 5.1 да е съосен на допълнителния конусен отвор 5.2, което дава възможност за затягане със стопорен винт 5 с конусен връх. Затягането на конусния стопорен винт 5 води до притискане на базовото чело на модулната

глава 3 към базовото чело на държача 1. С това се осигурява челното базиране на модулната глава 3 към държача 1. В модулната глава 3 предварително е закрепен режещ инструмент с цилиндрична опашка, захванат към нея посредством цангата 6 и гайката 7. Това може да се извърши извън работната зона на машината. Цангата 6 заедно с гайката 7 се вмести в конусния отвор на работната повърхнина на модулната глава 3. Тя има външна цилиндрична метрична резба, върху която се навива гайката 7. Когато в отвора на цангата 6 се постави свредло, зенкер, фреза или друг инструмент с цилиндрична опашка със съответстващ на цангата 6 диаметър, чрез затягане на гайката 7 се фиксира устойчиво към модулната глава 3. Според диаметъра на цилиндричните опашки на инструментите се подбира съответната цанга 6. Конусните размери на цангата 6 са еднакви за един типоразмер модулна глава 3.

Модулната глава 3, цангата 6, гайката 7 и обработващият инструмент образуват т.н. инструментален модул. Инструменталният модул се закрепва в работната зона на машината чрез бързосменяемо закрепване към държача 1. Държачът 1 е устойчиво и неподвижно закрепен към типов носач на металообработващата машина. Инструменталният модул влиза със стъпаловидния присъединителен елемент 4 в стъпаловидния отвор 2 на държача 1, така че епитрохоидалният конусен профилен участък 4.2 на модулната глава 3 се базира в епитрохоидалния конусен профилен участък на държача 1. По този начин натоварващият въртящ момент се поема от външните радиуси R_a на епитрохоидалния профил. Конусният връх на стопорния винт 5, когато влезе в допълнителния конусен отвор 5.2 на модулната глава 3, осигурява притискане на базовото чело на модулната глава 3 към базовото чело на държача 1. Това означава, че сглобката на двата конусни епитрохоидални профила е с хлабина, което изключва заклиняване.

В другия примерен вариант – фиг.2.10 е представено закрепване на инструменти за струговане със сменяеми твърдосплавни пластини с различна форма. Стругарският нож е закрепен по стандартен начин чрез легло към работната повърхнина на модулната глава 3. За да се осъществи правилното ориентиране на модулната глава 3 към държач с призматична форма 1, е необходимо цилиндричният участък 4.1 на модулната глава 3 да влезе в цилиндричния участък 2.1 със съответен диаметър в държача 1. Съвместяването на цилиндричния участък 4.1, на модулната глава 3 и цилиндричния участък 2.1 със съответния диаметър в държача 1, осигурява съвпадане на главните оси при сглобката. Епитрохоидалният изпъкнал конус на профилния участък 4.2 от стъпаловидния присъединителен елемент 4 на модулната глава 3 се ориентира в епитрохоидалния вдлъбнат конус на профилния участък 2.2 от стъпаловидния отвор 2 на държача 1, така че да е възможно затягане със стопорен винт 5. Затягането чрез стопорния винт 5 води до притегляне на базовото чело на модулната глава 3 към базовото чело на държача 1. С това се осигурява челното базиране на модулната глава 3 към държача 1.

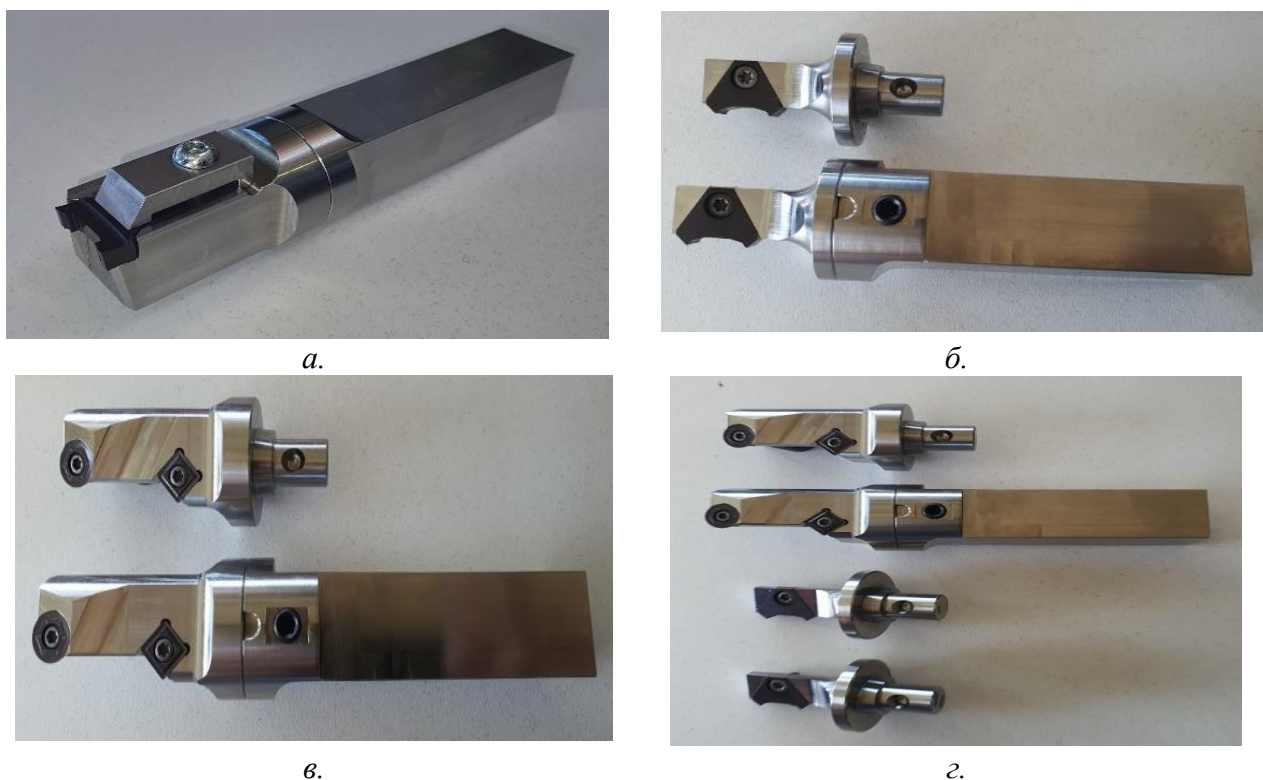
Според формата и ъглите на инструментите за струговане са разработени различни по конфигурация модулни глави. Закрепването на модулната глава 3 върху призматичен, неподвижен спрямо машината държач се осъществява по следния начин:

- *Призматичният държач или група подобни държачи се закрепват неподвижно върху носач, прикрепен към базовите повърхнини на супорта в зоната на обработка на машината.*
- *Базовото чело на държача е строго перпендикулярно на стените от околната призматична повърхнина на тялото му. Тъй като между изпъкналия епитрохоидален конусен профил и базовото чело има технологичен радиус, то в базовото чело на държача се изработва цилиндрично освобождение. В резултат на това се осигурява плътно прилепване на двете чела. Профилният участък 2.2 с епитрохоидален профил от стъпаловидния отвор 2 на държача и центриращият отвор в държача са строго съосни, като приоритетни са по-големите външни радиуси R_a . Същото изискване се спазва и за изпъкналия епитрохоидален конусен профил на профилния участък 4.2 от стъпаловидния*

присъединителен елемент 4 на модулната глава 3, където също приоритетни са по-големите външни радиуси R_a .

- Модулната глава осигурява точно ориентиране на режещия ръб на инструмента за струговане (най-често металокерамична пластина) спрямо призматичния държач, а следователно и спрямо базовите повърхнини на супорта на машината.
- Прилепналите базови чела осигуряват положението на върха на режещия ръб спрямо координатната система на машината.
- Епитрохоидалният профил на системата за бързосменяемо закрепване на инструменти осигурява еднозначно ориентиране на различни модулни глави 3 към съответните призматични държачи.

На база иновативното решение са изработени комплекти от бързосменяеми държачи с инструментални модули за обработване на различни повърхнини при стругови операции на CNC металообработващи машини представени на фиг.2.11.



Фиг.2.11. Комплекти от бързосменяеми държачи и инструментални блокове за струговане на CNC металообработващи машини, изработени на база на разработената иновативна конструкция: а – общ вид на бързосменен държач; б – държач с инструментален блок за външно цилиндрично струговане; в – комбиниран държач за струговане на чело и разстъргване на отвори; г - бързосменен държач с набор от сменяеми инструментални блокове.

2.4. Изводи

На база на получените резултати от проведените изследвания могат да се формулират следните по-важни изводи:

1. Констатирано е, че към настоящия момент най-голямо практическо приложение намират бързосменните модули на Sandvik Capto (Coromant Capto). Основни предимства на системата спрямо останалите разгледани са:

- гъвкавост чрез широка модулност;
- висока стабилност и прецизност;
- минимална номенклатура на инструменти;

➤ *намалено време за настройка.*

2. Разгледаните конструкции съществуващи бързосменни държачи притежават основни недостатъци свързани с:

- сложни многокомпонентни системи;
- необходимост от голяма точност при изработване на елементите;
- в повечето конструкции липсва възможност за подаване на охлаждаща течност в зоната на рязане.

3. На база констатираните недостатъци на съществуващи конструкции бързосменни държачи е разработена иновативна система за бързосменяемо закрепване на инструменти с епитрохоидален профил на контактната повърхнина на държача и модулната глава, която може да се прилага за закрепване на инструменти с ротационна и призматична съединителна част.

4. Разработената иновативна система се характеризира със стабилна конструкция, позволяваща бързо пренастройване на CNC струговите автомати при изработване на малки серии детайли (при използване на стандартни държачи това е свързано с големи разходи на време).

5. Разработеното иновативно предложение се характеризира със следните особености:

- *позволява трансмисия с висок въртящ момент;*
- *висока якост на огъване;*
- *бърза или автоматизирана смяна на режещия инструмент;*
- *възможност за използване на нова охлаждаща технология чрез фиксирани дюзи за надеждност на процеса дори при ниско налягане на охлаждащата течност;*
- *възможност за вътрешно подвеждане на охлаждаща течност от машината към върха на режещия ръб;*
- *баланс и подравняване;*
- *самоцентриране и др.*

6. Използването на новата система ще доведе до намаляване на себестойността на произвежданите изделия и увеличаване на конкурентоспособността на фирмите.

Глава трета: Изследване параметрите на процеса струговане при използване на стандартен и бързосменен държач

3.1. Задачи за изследване

Задачите за решаване в процеса на изследване са:

- *Да се проведат сравнителни изследвания на средната грапавост на обработените повърхнини и трайността на режещият инструмент при струговане със стандартен (монолитен) държач и със създадената иновативна конструкция бързосменен държач.*
- *Да се изследва влиянието на видовете смазочно-охлаждащи течности върху точността на обработените повърхнини при струговане със създадената иновативна конструкция бързосменен държач.*
- *Да се проследи икономическата ефективност от внедряването на бързосменни държачи в реални производствени условия.*

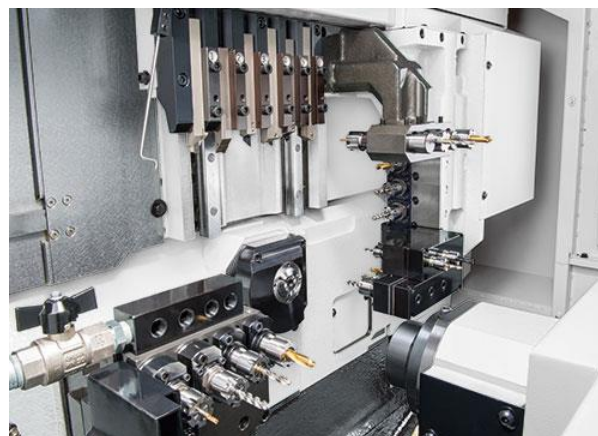
3.2. Екипировка, материали, методи

Процеса на струговане е реализиран на CNC стругов център, модел GOODWAY SW-20. – фиг.3.1.

Швейцарският център за струговане от серията GOODWAY SW осигурява до 9-осно управление и 4-осно координатно движение, което е с висока производителност чрез използване на високоскоростен вграден шпиндел, пълна инструментална система – фиг.3.2. и гъвкав дизайн на хибридна водеща втулка.



Фиг.3.1. Общ вид на CNC стругов център швейцарски тип модел GOODWAY SW-20 [136]



Фиг.3.2. Инструменталната система на GOODWAY SW-20 [136]

Използвани са инструменти със сменяеми металокерамични твърдосплавни пластини VCMT 110302 (ISO 1832), монтирани в стандартен държач SDJCL-1212G-11 (ISO 5608) и в оригиналния дизайн на бързосменен държач - фиг. 3.3



а.



б.



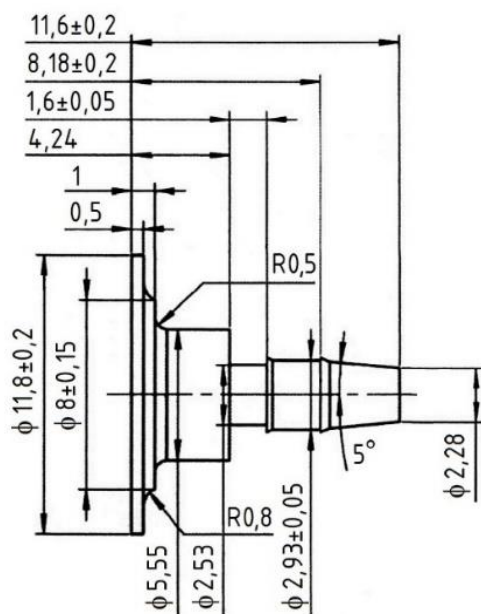
в.

Фиг.3.3. Иновативна инструментална система:
а – бързосменен инструментодържач; б – държач и инструментален блок;
в – държач с инструментален блок

Експерименталните изследвания за влиянието на вида инструментодържач върху средната грапавост - Ra на обработените повърхнини са проведени при изработване на серии детайли – фиг.3.4, от легирана стомана 42CrMoS4 (1.7227) [22] с твърдост 33-35 HRC и химичен състав съгласно таблица 3.1.

Таблица 3.1. Химичен състав на 42CrMoS4 (1, 7227) EN 10277-5-2008

Химични елементи, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
min	0,38	0,02	0,60	-	0,02	0,90	0,15	до
max	0,45	0,04	0,90	0,025	0,04	1,20	0,30	100%



а.



б.

Фиг.3.4. Чертеж на изработваният детайл – а и готови изделия - б

При определяне влиянието на охлаждащата среда върху грапавостта на обработваните повърхнини са използвани два вида смазочно-охлаждащи течности – ECOCOOL MACH 40 [110] и VASCO 6000 [138].

Използваните при изследванията държачи осигуряват постоянна геометрия на инструмента:

- *преден ъгъл* – $\gamma = -5^\circ$;
- *заден ъгъл* – $\alpha = 0,7^\circ$;
- *главен установъчен ъгъл* – $k_r = 93^\circ$;
- *спомагателен установъчен ъгъл* – $k_r' = 32^\circ$;
- *радиус на върха на инструмента* – $r_{\epsilon} = 0,2 \text{ mm}$.

Процеса на струговане е осъществен при следните параметри на режима на рязане:

- *скорост на рязане* $V_c = 150 \text{ m/min}$;
- *подаване* $f = 0,05 \text{ mm/rev}$;
- *дълбочина на рязане* $a_p = 0,02 \text{ mm}$.

При оценка грапавостта на повърхностите според действащите стандарти ISO 4287; ISO 12085 (БДС 728-79) е изследвано средно аритметично отклонение от профила – R_a .

Измерванията са проведени върху челната повърхност на обработените детайли ($\varnothing 11,8 \pm 0,2$) с профиломер TESA Rugosurf 20. Като параметър за оценка на качеството на обработените повърхности в конкретният случай се приема отчетената грапавост по критерия, $R_a, \mu\text{m}$ - фиг. 3.5.



Фиг.3.5.Схема на измерване на грапавост по критерия, $R_a, \mu\text{m}$.

За да се съпоставят получените експериментални резултати за средната грапавост на обработените повърхности от двата експеримента, проведени със стандартен и бързосменяем държач, е направен сравнителен статистически анализ. Той включва проверка на две статистически хипотези:

- *равенство на дисперсии на две случайни величини;*
- *равенство на математически очаквания на две случайни променливи.*

Пресмятанятия на статистическите хипотези са извършен в съответствие с методологията, представена в [1], в следната последователност:

1. Средноаритметичните стойности на средната грапавост на обработените повърхности при струговане със стандартен и бързосменяем държач се определят в съответствие със зависимости 3.1 и 3.2.

$$\bar{Ra}_i = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{Ra}_{iu}}{n} \quad (3.1)$$

$$\bar{Ra}_{iu} = \frac{\sum_{j=1}^p Ra_{ijj}}{p} \quad (3.2)$$

където: $p = 3$ - брой измервания при всеки опит.

2. Статистическите оценки на дисперсиите на средната грапавост на изследваните повърхности се определят за всеки експеримент съгласно 3.3 и 3.4.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^n S_{iu}^2}{n} \quad (3.3)$$

$$S_{iu}^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{j=1}^p (Ra_{ijj} - \bar{Ra}_{iu})^2 \quad (3.4)$$

Оценките на дисперсиите S_i^2 се определят след проверка на еднородността им - S_{in}^2 , съгласно критерия на Кохрѐн. Дисперсиите са еднородни, ако е изпълнено условието – 3.5.

$$\hat{G}_i = \frac{S_{iu, \max}^2}{\sum_{u=1}^n S_{iu}^2} \leq G_{\alpha, k_1, k_2} \quad (3.5)$$

където: G_i - емпирична стойност на теста на Кохрѐн;

$G(\alpha, k_1, k_2)$ - квантил на Кохрѐн, определен при ниво значимост - $\alpha = 0,05$ и брой на степените на свобода $k_1 = p - 1$ и $k_2 = n$.

3. Тествана е хипотезата за равенство на дисперсиите на грапавостта в двата експеримента. За проверка на хипотезата е използван критерият на Фишер, чиято емпирична стойност е определена в съответствие със зависимост 3.6:

$$\hat{F} = \frac{s_1^2}{s_2^2} = 1.7548. \quad (3.6)$$

4. Тествана е хипотезата за равенство на математическите очаквания на грапавостта на обработените повърхности в двата експеримента. За проверка на хипотезата е използван критерият на Стюдънт, чиято емпирична стойност е определена в съответствие със зависимости 3.7 и 3.8:

$$\hat{t} = \frac{|\bar{Ra}_1 - \bar{Ra}_2|}{s} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} = 0.7283 \quad (3.7)$$

$$s = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}} = 0.4038 \quad (3.8)$$

3.3. Сравнителен анализ на обработваните повърхнини

Проведени са два отделни експеримента за определяне на средната грапавост на обработените повърхности при постоянни стойности на елементите на режима на рязане, съответно при струговане със стандартен и бързосменяем държач. Във всеки от експериментите са направени три големи проби с обем от 900 обработени детайла, на които са измерени стойностите за Ra.

Всяка от големите извадки е разделена на групи от еднакъв брой детайли, броят на които (**n**) съответства на броя на опитите във всяка извадка (**n** = 20).

Измерените стойности за Ra (Ra_{ij} = 1,2 - съответно при използване на стандартен и бързосменяем държач; $i = 1 \div n$ - номер на изпитване; $j = 1, 2, 3$ - номер на образец) са представени в таблици 3.2 и 3.3, а графичната им интерпретация - на фиг. 3.6 .

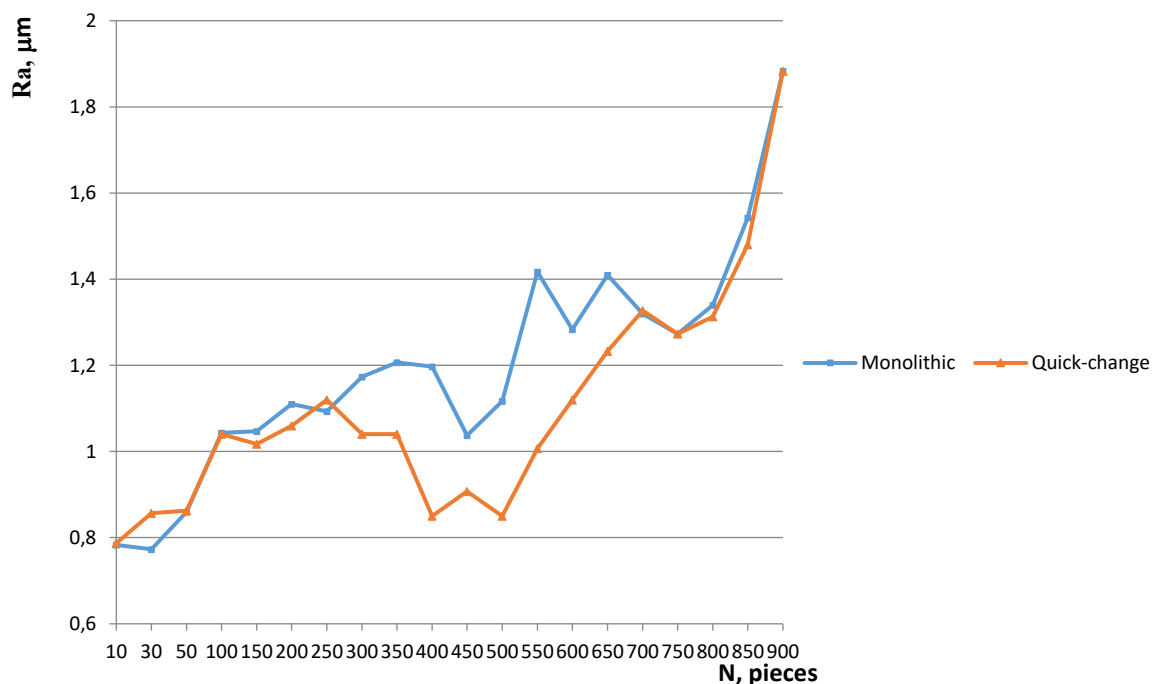
Таблица 3.2. Експериментални резултати със стандартен инструментодържач

№ на измерването, N	Грапавост – $Ra_{1 \div n}$, μm			Средна стойност Ra_i , μm	Стандартно отклонение, S_{1u}	Дисперсия, S_{1u}^2
	Ra_{11}	Ra_{12}	Ra_{13}			
10	0,80	0.75	0.80	0.783	0.0289	0.00083
30	0.90	0.72	0.70	0.773	0.1102	0.01213
50	1.01	0.81	0.76	0.860	0.1323	0.01750
100	1.18	0.83	1.12	1.043	0.1872	0.03503
150	1.25	0.76	1.13	1.047	0.2554	0.06523
200	1.22	0.86	1.25	1.110	0.2170	0.04710
250	1.20	0.98	1.10	1.093	0.1102	0.01213
300	1.39	0.97	1.16	1.173	0.2103	0.04423
350	1.21	1.36	1.05	1.207	0.1550	0.02403
400	1.35	1.29	0.95	1.197	0.2157	0.04653
450	0.88	1.10	1.13	1.037	0.1365	0.01863
500	0.78	1.39	1.18	1.117	0.3099	0.09603
550	1.36	1.25	1.64	1.417	0.2011	0.04043
600	1.29	1.34	1.22	1.283	0.0603	0.00363
650	1.25	1.42	1.56	1.410	0.1552	0.02410
700	1.39	1.18	1.39	1.320	0.1212	0.01470
750	1.25	1.12	1.45	1.273	0.1662	0.02763
800	1.34	1.22	1.46	1.340	0.1200	0.01440
850	1.65	1.32	1.66	1.543	0.1935	0.03743
900	1.78	2.10	1.77	1.883	0.1877	0.03523
$Ra_1 = 1,196 \mu m$ Дисперсиите S1 са еднородни според състоянието: $G_1 = 0,156 < G_1(\alpha = 0,05; k_1 = 2; k_2 = 20) = 0,2705;$ $S_1^2 = 0,03085$						

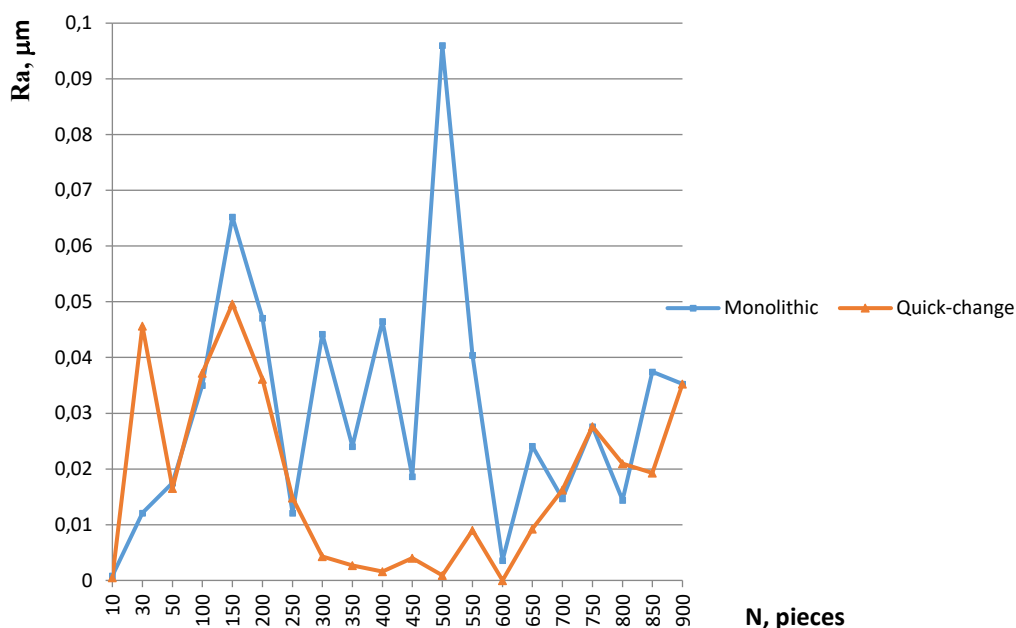
Таблица 3.3. Експериментални резултати с бързосменен инструментодържач

№ на измерването, N	Грапавост – Ra_{1-n} , μm			Средна стойност Ra_2 , μm	Стандартно отклонение, S_{2u}	Дисперсия, S_{2u}^2
	Ra_{21}	Ra_{22}	Ra_{23}			
1	2	3	4	5	6	7
10	0.80	0.76	0.80	0.787	0.0231	0.00053
30	1.10	0.77	0.70	0.857	0.2136	0.04563
50	1.01	0.81	0.77	0.863	0.1286	0.01653
100	1.18	0.82	1.12	1.040	0.1929	0.03720
150	1.16	0.76	1.13	1.017	0.2228	0.04963
200	1.22	0.85	1.11	1.060	0.1900	0.03610
250	1.20	0.98	1.18	1.120	0.1217	0.01480
300	1.05	0.97	1.10	1.040	0.0656	0.00430
350	1.01	1.10	1.01	1.040	0.0520	0.00270
400	0.89	0.85	0.81	0.850	0.0400	0.00160
450	0.98	0.87	0.87	0.907	0.0635	0.00403
500	0.82	0.88	0.85	0.850	0.0300	0.00090
550	1.10	0.91	1.01	1.007	0.0950	0.00903
600	1.12	1.12	1.12	1.120	0.0000	0.00000
650	1.25	1.32	1.13	1.233	0.0961	0.00923
700	1.39	1.18	1.41	1.327	0.1274	0.01623
750	1.25	1.12	1.45	1.273	0.1662	0.02763
800	1.24	1.22	1.48	1.313	0.1447	0.02093
850	1.55	1.32	1.57	1.480	0.1389	0.01930
900	1.78	2.1	1.77	1.883	0.1877	0.03523

$Ra_2 = 1,103 \mu m$
 Дисперсиите S_2 са хомогенни според състоянието:
 $G_2 = 0,1412 < G_1(\alpha = 0,05; k_1 = 2; k_2 = 20) = 0,2705$
 $S_2^2 = 0,01758$



Фиг.3.6. Грапавост на обработени повърхности при струговане с монолитен и бързосменен държач



Фиг.3.7. Оценка на дисперсията на грапавостта на обработените повърхности при струговане с монолитен и бързосменен държач

Определените стойности на статистическите оценки на дисперсиите S_1^2 и S_2^2 за грапавостта, получена при обработване със стандартен и бързосменен държач, както и проверките за равномерност на дисперсиите по теста на Кохрн за двата експеримента са представени съответно в таблици 3.2. и 3.3 (колони 6 и 7)

След сравняване на емпиричната стойност на критерия на Фишер – F , с квантила на Фишер ($F_{\alpha, k_1, k_2} = F_{0,05, 40, 40} = 1,51$) е установено, че, $\bar{F} > F_{0,05, 40, 40}$, т.е. дисперсията на грапавостта на обработените повърхности при използване на стандартен държач е по-голяма, отколкото при използване на бързосменяем държач.

След сравняване на емпиричната стойност на критерия на Student – t , с квантила на Student ($t_{\alpha, k} = t_{0,05, 38} = 1,684$) е установено, че $\bar{t} < t$ ($0,7283 < 1,684$), т.е. средните стойности на грапавостта на обработваните повърхности в двата експеримента не се различават.

Направеният статистически анализ показва, че в двата експеримента, проведени със стандартен и бързосменяем държач, се получават съпоставими стойности на средната грапавост на обработените повърхности, но дисперсията на грапавостта - фиг. 3.7, при струговане с бързосменяем държач е по-малка от тази при използване на монолитен държач. Това е доказателство за по-голяма стабилност на технологичния процес при използване на бързосменяем държач и е предпоставка за получаване на по-високо качество на обработените повърхности.

При проведените изследвания са констатирани следните предимства при обработката на детайлите с помощта на бързосменен държач:

- по-малка грапавост при обработка на детайлите на пробите;
- по-голяма трайност на инструментите, определена при технологичен критерий износване $Rak = 1,4 \mu m$ - $T_2 = 920$ бр. детайли при работа с бързосменен държач ($T_1 = 880$ броя детайли при работа с монолитен държач)
- много по-малко време за смяна на износени металокерамични твърдосплавни пластини ($t_2 = 30 s$) в сравнение с времето за смяна на пластини с монолитен държач ($t_1 = 20 min$), в резултат на което са произведени 81 детайла повече с използване на държача за бърза смяна за същото време за обработка.

- по-малко време за настройка на оборудването (40 пъти в сравнение с използването на стандартен държач) - определено при обработка на партида от 20 000 части и времето за изработка на една част е 43 s.

3.4. Влияние на вида охлаждаща течност при струговане с бързосменен държач

Едно от основните предимства на бързосменният държач е възможността за доставяне през тялото му на смазочно - охлаждаща течност в зоната на рязане. Това налага по-обстойно да се изследва влиянието на вида смазочно - охлаждаща течност върху качеството на обработваните повърхнини.

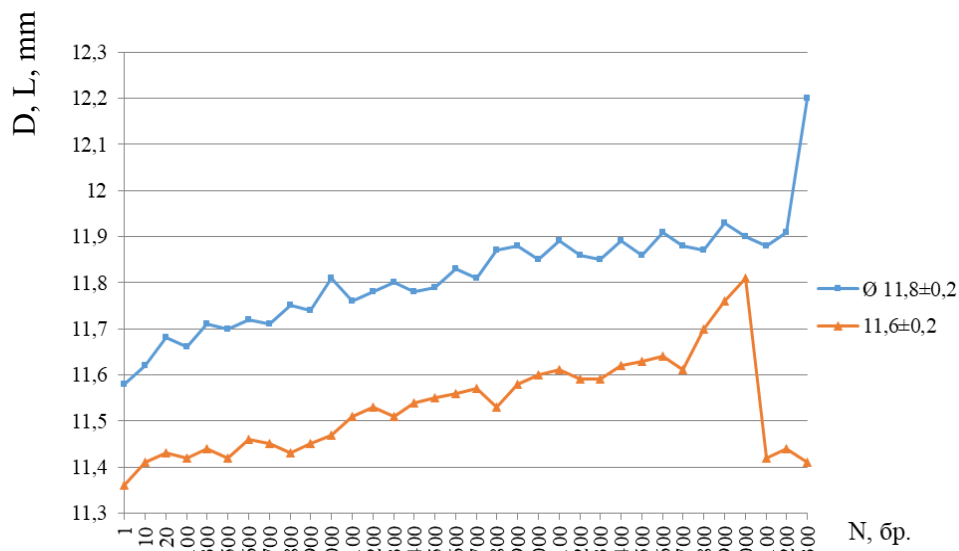
Статистическият анализ за влиянието на охлаждането върху точността е направен въз основа на измерване на контролираните размери на детайла – фиг.3.1 (диаметър $D=11.8\pm0.2$ mm и дължина $L=11.6\pm0.2$ mm) на партиди от 3300 броя.

Проведени са две серии от експериментални изследвания за определяне влиянието на вида смазочно-охлаждащите течности (LUF) върху точността на размерите и скоростта на рязане.

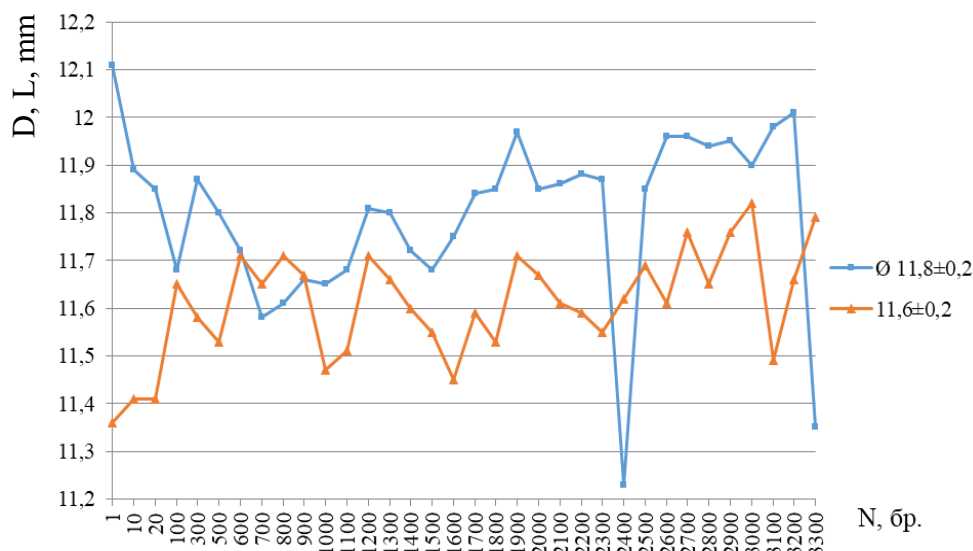
За определяне влиянието на охлаждащата среда върху точността на обработваните детайли са използвани две марки смазочно-охлаждащи течности - ECOCOOL MACH 40 и Vasco 6000. Получените експериментални резултати за контролираните размери с използване на два вида смазочни охлаждащи течности са представени в таблица 3.4, а графичната им интерпретация - на фиг. 3.8 и 3.9.

Таблица 3.4. Експериментални резултати за точността на обработваните размери при охлаждане с ECOCOOL MACH 40 и VASCO 6000

№ на детайла	Вид на охлаждащата среда			
	ECOCOOL MACH 40		VASCO 6000	
	D ₁ , mm	L ₁ , mm	D ₂ , mm	L ₂ , mm
1	11,58	11,36	12,11	11,36
10	11,62	11,41	11,89	11,41
20	11,68	11,43	11,85	11,41
100	11,66	11,42	11,68	11,65
300	11,71	11,44	11,87	11,58
500	11,70	11,42	11,80	11,53
600	11,72	11,46	11,72	11,71
700	11,71	11,45	11,58	11,65
800	11,75	11,43	11,61	11,71
900	11,74	11,45	11,66	11,67
1000	11,81	11,47	11,65	11,47
1100	11,76	11,51	11,68	11,51
1200	11,78	11,53	11,81	11,71
1300	11,80	11,51	11,80	11,66
1400	11,78	11,54	11,72	11,60
1500	11,79	11,55	11,68	11,55
1600	11,83	11,56	11,75	11,45
1700	11,81	11,57	11,84	11,59
1800	11,87	11,53	11,85	11,53
1900	11,88	11,58	11,97	11,71
2000	11,85	11,60	11,85	11,67
2100	11,89	11,61	11,86	11,61
2200	11,86	11,59	11,88	11,59
2300	11,85	11,59	11,87	11,55
2400	11,89	11,62	11,23	11,62
2500	11,86	11,63	11,85	11,69
2600	11,91	11,64	11,96	11,61
2700	11,88	11,61	11,96	11,76
2800	11,87	11,70	11,94	11,65
2900	11,93	11,76	11,95	11,76
3000	11,90	11,81	11,90	11,82
3100	11,88	11,42	11,98	11,49
3200	11,91	11,44	12,01	11,66
3300	12,20	11,41	11,35	11,79



Фиг.3.8. Измервания на контролирани размери при обработка със смазочно охлаждаща течност ECOCOOL MACH 40 и скорост на рязане $V_c = 150 \text{ m/min}$



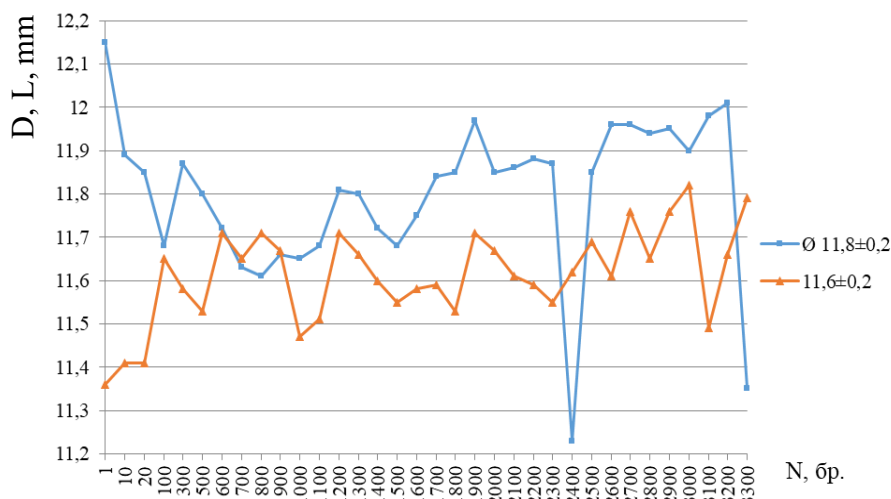
Фиг.3.9. Измервания на контролирани размери при обработка със смазочно охлаждаща течност VASCO 6000 и скорост на рязане $V_c = 150 \text{ m/min}$

При сравняване на получените стойности за контролираните параметри в таблица 3.4 се установява, че при използване на охлаждаща течност VASCO 6000 отклоненията от зададените толеранси са повече на брой. Това налага промяна в режимите на работа и намаляване на скоростта на рязане. В тази връзка при прилагането на тази смазочно охлаждаща течност са проведени експериментални изследвания при две скорости на рязане - $V_c = 150 \text{ m/min}$ и $V_c = 125 \text{ m/min}$, като стойностите на дълбочината на рязане и подаването са постоянни - $a_p = 0.02 \text{ mm}$ и $f = 0.05 \text{ mm/об.}$ Експерименталните резултати са представени в таблица 3.5 и фиг. 3.10.

За да се сравнят резултатите за точността на контролираните размери при използване на два вида смазочно охлаждаща течност - таблица 3.5 и при две различни скорости на рязане - таблица 3.6, е направен статистически анализ, който включва проверка на две статистически хипотези - за равенството на дисперсиите на две случайни променливи и за равенството на математическите очаквания на две случайни променливи.

Таблица 3.5. Експериментални резултати за точността на обработваните размери при охлаждане с VASCO 6000 с различна скорост на рязане

№ на детайла	Скорост на рязане			
	Vc = 150 m/min		Vc = 125 m/min	
	D ₂ , mm	L ₂ , mm	D ₃ , mm	L ₃ , mm
1	12,11	11,36	12,15	11,36
10	11,89	11,41	11,89	11,41
20	11,85	11,41	11,85	11,41
100	11,68	11,65	11,68	11,65
300	11,87	11,58	11,87	11,58
500	11,80	11,53	11,8	11,53
600	11,72	11,71	11,72	11,71
700	11,58	11,65	11,63	11,65
800	11,61	11,71	11,61	11,71
900	11,66	11,67	11,66	11,67
1000	11,65	11,47	11,65	11,47
1100	11,68	11,51	11,68	11,51
1200	11,81	11,71	11,81	11,71
1300	11,80	11,66	11,8	11,66
1400	11,72	11,60	11,72	11,6
1500	11,68	11,55	11,68	11,55
1600	11,75	11,45	11,75	11,58
1700	11,84	11,59	11,84	11,59
1800	11,85	11,53	11,85	11,53
1900	11,97	11,71	11,97	11,71
2000	11,85	11,67	11,85	11,67
2100	11,86	11,61	11,86	11,61
2200	11,88	11,59	11,88	11,59
2300	11,87	11,55	11,87	11,55
2400	11,23	11,62	11,23	11,62
2500	11,85	11,69	11,85	11,69
2600	11,96	11,61	11,96	11,61
2700	11,96	11,76	11,96	11,76
2800	11,94	11,65	11,94	11,65
2900	11,95	11,76	11,95	11,76
3000	11,90	11,82	11,9	11,82
3100	11,98	11,49	11,98	11,49
3200	12,01	11,66	12,01	11,66
3300	11,35	11,79	11,35	11,79



Фиг.3.10. Измервания на контролирани размери при обработка със смазочно охлаждаща течност, марка Vasco 6000 и скорост на рязане Vc = 125 m/min

Проверката на статистическите хипотези е извършена в следната последователност:

1. Средноаритметичните стойности на контролираните размери са определени при използване на смазочно охлаждаща течност марки ECOCOOL MACH 40 и Vasco 6000 (съответно D₁ и L₁; D₂ и L₂ - таблица 3.4) и при скорости на рязане Vc = 150 m/min и Vc = 125 m/min и прилагане на смазочно охлаждаща течност Vasco 6000 (съответно D₂ и L₂; D₃ и L₃ - таблица 3.5).

2. Определени са статистическите оценки на дисперсиите на D и L на изследваните повърхнини за всеки експеримент - S_{D1}^2 , S_{D2}^2 , S_{D3}^2 , S_{L1}^2 , S_{L2}^2 , и S_{DL}^2 - таблица 3.6.

Таблица 3.6. Статистически анализ на експерименталните резултати

Статистически критерии	Контролирани размери					
	Диаметър D=11.8±0.2 mm			Дължина L=11.6±0.2 mm		
Средни стойности	D ₁	D ₂	D ₃	L ₁	L ₂	L ₃
	11.814	11.797	11.800	11.531	11.610	11.614
Дисперсия	S _{D1} ²	S _{D2} ²	S _{D3} ²	S _{L1} ²	S _{L2} ²	S _{L3} ²
	0.0127	0.0320	0.0322	0.0113	0.0127	0.0119
Средно квадратично отклонение	S _{D1}	S _{D2}	S _{D3}	S _{L1}	S _{L2}	S _{L3}
	0.1127	0.1789	0.1795	0.1063	0.1127	0.1092
Обща оценка на дисперсията	S _{D1-2}		S _{D2-3}	S _{L1-2}		S _{L2-3}
	0.1495		0.1792	0.1095		0.1109
Забележка: Стойностите S _{D1-2} , S _{D2-3} , S _{L1-2} и S _{L2-3} са средни оценки на дисперсиите на генералните съвкупности в проведените експерименти						

3. Хипотезата за равенство на дисперсиите на контролираните размери D и L е проверена с помощта на критерия на Фишер, емпиричните стойности на който са определени в съответствие със зависимостите:

- при използване на две смазочни охлаждащи течности – 3.9;
- при обработка с различни скорости на рязане – 3.10.

$$\hat{F}_{D1-2} = \frac{S_{D1}^2}{S_{D2}^2} = 0.397$$

$$\hat{F}_{L1-2} = \frac{S_{L1}^2}{S_{L2}^2} = 0.889 \quad (3.9)$$

$$\hat{F}_{D2-3} = \frac{S_{D2}^2}{S_{D3}^2} = 0.994$$

$$\hat{F}_{L2-3} = \frac{S_{L2}^2}{S_{L3}^2} = 1.067 \quad (3.10)$$

След сравняване на определените емпирични стойности на критерия на Фишер с квантила на Фишер ($F_{\alpha, k1, k2} = F_{0.05, 33, 33} = 1.51$) е установено, че $\hat{F} > F$ следователно дисперсиите на диаметъра и линейния размер при използване на смазочно охлаждаща течност ECOCOOL MACH 40 са по-малки, отколкото при прилагане на смазочно охлаждаща течност VASCO 6000. Установено е, че с намаляването скоростта на рязане при използване на смазочно-охлаждаща течност VASCO 6000 не води до намаляване на отклоненията от зададените номинални стойности на контролираните размери.

4. Хипотезата за равенство на математическите очаквания на контролираните размери е проверена при използване на смазочно-охлаждащи течности, марки ECOCOOL MACH 40 и

Vasco 6000 и при скорости на рязане $V_c = 150 \text{ m/min}$ и $V_c = 125 \text{ m/min}$ и смазочно-охлаждаща течност Vasco 6000.

За проверка на хипотезата е използван критерият на Стюдънт, чиито емпирични стойности са определени в съответствие със зависимостите:

- при използване на две смазочни охлаждащи течности – 3.11:
- при обработка с различни скорости на рязане – 3.12:

$$\hat{t}_{D_{1-2}} = \frac{|\bar{D}_1 - \bar{D}_2|}{s_{D_{1-2}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} = 0,4688 \quad (3.11)$$

$$\hat{t}_{L_{1-2}} = \frac{|\bar{L}_1 - \bar{L}_2|}{s_{L_{1-2}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} = 2,975$$

$$\hat{t}_{D_{2-3}} = \frac{|\bar{D}_2 - \bar{D}_3|}{s_{D_{2-3}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} = 0,069 \quad (3.12)$$

$$\hat{t}_{L_{2-3}} = \frac{|\bar{L}_2 - \bar{L}_3|}{s_{L_{2-3}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} = 0,1487$$

След сравняване на емпиричните стойности на критерия на Стюдънт с квантила на Стюдънт $t_{\alpha,k} = 1,999$ (където $\alpha = 0,05$; $k = n_1 + n_2 - 2$) е установено, че средните стойности на контролирания размер $D = 11,8 \pm 0,2 \text{ mm}$ не се различават при обработка със смазочно-охлаждаща течност марки ECOCOOL MACH 40 и Vasco 6000 ($t_{D_{1-2}} < t_{\alpha,k}$). Стойностите на контролираните размери, получени при обработка със скорости $V_c = 150 \text{ m/min}$ и $V_c = 125 \text{ m/min}$ и смазочно охлаждаща течност Vasco 6000, също не се различават съществено $D = 11,8 \pm 0,2 \text{ mm}$ и $L = 11,6 \pm 0,2 \text{ mm}$, $t_{D_{2-3}} < t_{\alpha,k}$; $t_{L_{2-3}} < t_{\alpha,k}$). Значителна разлика в средните линейни размери $L = 11,6 \pm 0,2 \text{ mm}$ се наблюдава при обработка със смазочно охлаждаща течност, марки ECOCOOL MACH 40 и Vasco 6000 ($t_{L_{1-2}} > t_{\alpha,k}$).

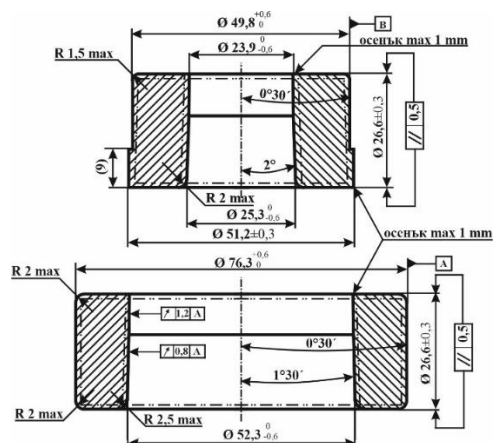
Резултатите от направения статистически анализ относно влиянието на вида охлаждаща течност върху точността на размерите и скоростта на рязане показват:

- При проведените експерименти със смазочно охлаждаща течност, марки ECOCOOL MACH 40 и Vasco 6000, са получени сравними средни стойности за размер $D = 11,8 \pm 0,2 \text{ mm}$. По отношение на линейния размер $L = 11,6 \pm 0,2 \text{ mm}$ обаче има значителна разлика в измерените средни стойности, тоест има значително влияние на вида на COT върху точността на линейните размери.
- При скорости на рязане $V_c = 150 \text{ m/min}$ и $V_c = 125 \text{ m/min}$ и прилагане на смазочно охлаждаща течност Vasco 6000, не се наблюдава значима разлика между средните стойности на контролираните размери. Констатира се, че отклоненията на контролираните размери D и L при обработка с по-ниска скорост са по-големи, т.е. не се подобрява стабилността на технологичния процес. В тази връзка и в съответствие с това, че намаляването на скоростта на рязане води до увеличаване на времето за обработка от $43 \div 46 \text{ s}$ до $62 \div 65 \text{ s}$ и до увеличаване на себестойността на обработвания детайл се препоръчва обработката на детайлите с приложение на COT Vasco 6000 да се извършва при скорост на рязане $V_c = 125 \text{ m/min}$.

3.5. Ефективност на иновативната конструкция бързосменен държач при производство на лагерни гривни

При производството на части за търкалящи лагери струговането е основният метод за обработка на повърхностите. В зависимост от това дали е грубо, чисто или фино, то достига $7 \div 14$ степени на точност, с грапавост $Rz 160 \div 1,6 \text{ }\mu\text{m}$ и $Ra 0,4 \div 1,25 \text{ }\mu\text{m}$.

Задачата на настоящото изследване е, на база натрупаната информация, в т.3.3 и 3.4, да се подобри ефективността на производствения процес при производството на гривни за търкалящи лагери чрез използване на бързосменен и регулируем режещ инструмент. Целта е съкращаване продължителността на производствения процес и повишаване ефективността на производството. Ефективността на иновативната конструкция бързосменен държач е изследвана при изработване на лагерни гривни с размери съгласно фиг. 3.11.



Фиг.3.11. Чертеж на изработваната лагерна гривна

Проведени са паралелни изследвания за обработка на лагерни гривни, като в единия случай се използват монолитни държачи, а в другия - бързосменен - фиг. 3.4.

Процесът на струговане е реализиран с режещ инструмент – фиг.2.11г. и режим на рязане: $V_c = 150 \text{ m/min}$, $f = 0.05 \text{ mm/rev}$ и $a_p = 0.02 \text{ mm}$.

От получените в процеса на изследване резултати е констатирано, че при избрания режим на рязане и обработен материал средното износване на твърдосплавните пластини е след обработка на 650 заготовки. Този живот на режещия ръб се достига след спазване на изискванията за средна грапавост, както и на отклонението на линейните размери. При производствен цикъл от 6÷7 s на операция и осемчасова работна смяна – 28800 s, теоретичната производителност е в границите 4100÷4800 лагерни гривни за смяна. Следователно за една работна смяна е необходимо да се направят 7 пренастройки на режещите инструменти.

На тази база загубите на време за смяна и пренастройване на металоурежещите инструменти и следователно отклоненията от теоретичната (максимална) производителност на поточната линия са представени в таблица 3.7

Таблица 3.7. Експериментални резултати

Характеристика	Стандартен държач	Бързосменен държач
Време за еднократна смяна и пренастройване на инструмента, s	1 380	53
Време за смяна и пренастройване на инструмента за работна смяна – 8 h, s	9 660	371
Нереализирана продукция при такт 6 секунди за работна смяна, бр.	1 610	62
Нереализирана продукция при такт 7 секунди за работна смяна, бр.	1 380	53
Производителност при такт на производство 6 s за работна смяна, бр.	3 190	4 738
Производителност при такт на производство 7 s за работна смяна, бр.	2 734	4 061
Нереализирана продукция спрямо теоретичната при такт 6 s, %	33,54	1,291
Нереализирана продукция спрямо теоретичната при такт 7 s, %	33,54	1,288

3.6. Изводи

На база получените статистически данни при изследванията могат да се формулират следните по-важни изводи:

1. Статистическата проверка на параметричните хипотези за равенство на математическите очаквания и дисперсии доказва, че сравними стойности на средната грапавост на обработените повърхности се получават при използване на стандартен и бързосменяем държач, но разсейването на грапавостта е по-малко, съответно стабилността на технологичния процес е по-голям при използване на бързосменен държач.

2. Използването на бързосменен държач води до по-голяма трайност на инструмента, много по-малко време за смяна на износени металокерамични пластини, както и по-малко време за настройка на оборудването (40 пъти в сравнение с използването на стандартен държач).

3. Предложеният подход за избор на инструментална екипировка чрез статистически анализ доказва ефективността на приложението на бързосменен държач при струговане. Използването му води до повишаване на производителността в резултат на намаляване на спомагателното време, като същевременно се гарантира високо и стабилно качество на обработените повърхности.

4. Статистическата проверка на параметричните хипотези за равенство на математическите очаквания и дисперсиите доказва, че при обработка с различни скорости на рязане се получават сравними стойности на контролираните диаметрални и линейни размери, като дисперсиите на тези размери са по-малки при по-високи скорости на рязане, т.е. стабилността на технологичния процес е по-голяма.

5. Видът на СОТ оказва съществено влияние върху дисперсиите на контролираните диаметрални и линейни размери, като при струговане с ECOCOOL MACH 40 те са по-малки, отколкото при прилагане на Vasco 6000. Това е доказателство за по-голяма стабилност на технологичния процес при използване на ECOCOOL MACH 40 и е предпоставка за получаване на по-високо качество на обработените повърхности. Видът на използваната смазочна охлаждаща течност има значително влияние върху точността на изследвания линейен размер и незначително влияние върху точността на диаметралния размер.

6. Предложеният подход за избор на охлаждаща среда и скорост на рязане създава условия за оптимизиране на работните условия при струговане на детайли от стомана 42CrMoS4 с помощта на бързосменяеми държачи.

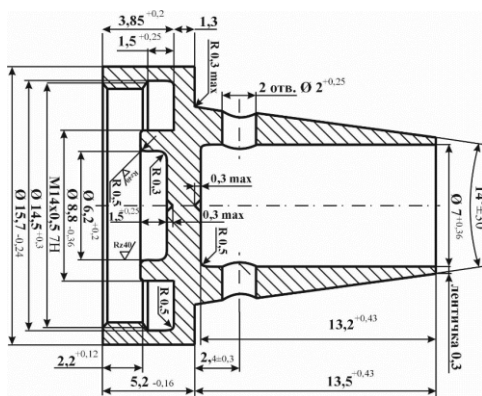
7. Доказано е, че за осем часов работен ден при трисменен непрекъснат режим на работа за седем дена производителността на линията за лагерни гривни със стандартен държач в зависимост от такта на производство е $57414 \div 66990$ детайла, а при използване на бързосменяем държач е $85281 \div 99498$ детайла.

8. Доказано е, че при използване на бързосменен държач за струговане на детайли от лагерни стомани в следствие подобряване процеса на рязане при струговане и бързосменяемост при пренастройка на друг обработван детайл или износване, производителността на поточната линия нараства с 32,25 %.

Глава четвърта: Оптимизация на режимите на рязане при обработване с разработения бързосменен държач

4.1. Избор на входящи величини и целеви функции

За да се анализира влиянието на технологичните фактори върху геометрията на обработваната повърхнина при струговане и трайността на режещите инструменти трябва да



Фиг.4.2. Чертеж на детайла

При оценка на параметъра R_a на грапавостта е използван контролен размер $\text{Ø}15,7+0,2/-0,2$ – на детайла от фиг.4.2.

4.2. Съставяне на емпирични модели

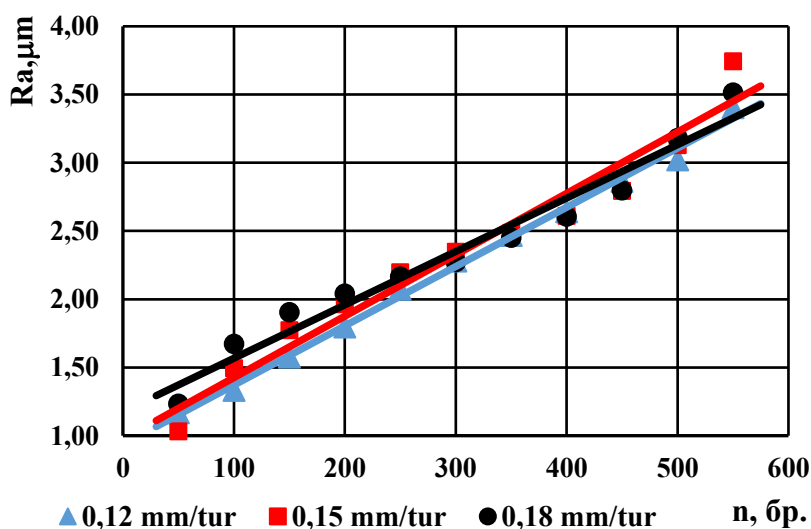
За съставяне на емпиричните модели са проведени многофакторни планирани експерименти по оптимален централно композиционен план при нива на факторите съгласно таблица 4.1.

Таблица 4.1. Области на вариране на факторите

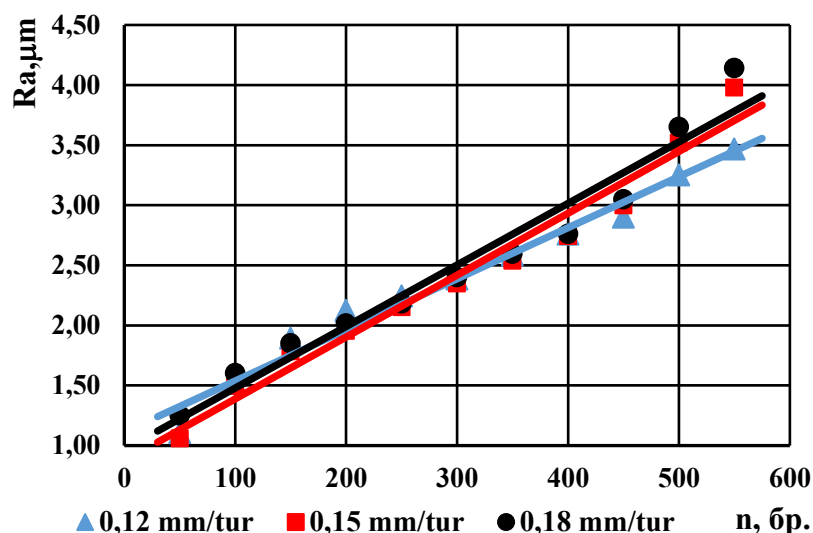
нива на факторите	$X_1, (V_c) \text{ m/min}$	$X_2, (f) \text{ mm/tur}$	кодирана стойност
$X_{i0} + \Delta X_i$	170	0,18	+1
X_{i0}	150	0,15	0
$X_{i0} - \Delta X_i$	130	0,12	-1

За попълване плана на експеримента – таблица 4.5, са проведени предварителни еднофакторни експерименти при струговане на партии от 550 детайла, като измерванията са правени на групи от 50 детайла.

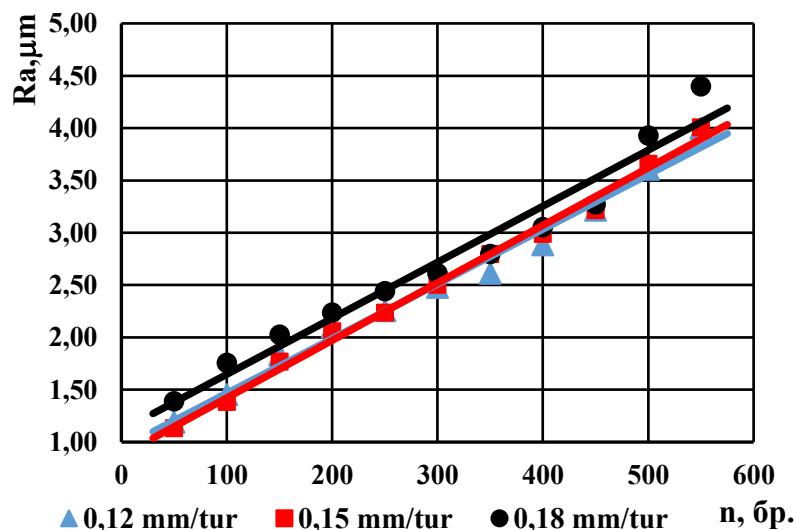
Експерименталните резултати са представени на фиг. 4.3 ÷ 4.5, съответно при скорости на рязане 130, 150 и 170 m/min.



Фиг.4.3. Грапавост при обработване на партии от 550 детайла при скорост на рязане V_c , = 130 m/min и подаване от 0,12; 0,15 и 0,18 mm/tur



Фиг.4.4. Грапавост при обработване на партиди от 550 детайла при скорост на рязане $V_c = 150 \text{ m/min}$ и подаване от 0,12; 0,15 и 0,18 mm/tur



Фиг.4.5. Грапавост при обработване на партиди от 550 детайла при скорост на рязане $V_c = 170 \text{ m/min}$ и подаване от 0,12; 0,15 и 0,18 mm/tur

Таблица 4.5. План на експеримента

№	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	Y_1	Y_2
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3,927	390
2	+1	-1	+1	-1	+1	+1	3,182	475
3	+1	+1	-1	-1	+1	+1	3,605	420
4	+1	-1	-1	+1	+1	+1	3,022	490
5	+1	+1	0	0	+1	0	3,658	405
6	+1	-1	0	0	+1	0	3,131	480
7	+1	0	+1	0	0	+1	3,654	440
8	+1	0	-1	0	0	+1	3,254	465
9	+1	0	0	0	0	0	3,523	450

4.2. Съставяне на емпирични модели

4.2.1. Емпиричен модел за Y_1 ($R_a, \mu\text{m}$)

Получения регресионен модел за определяне на грапавостта ($R_a, \mu\text{m}$) при обработване с иновативната конструкция ножодържач има вида 4.6.

$$Y_1 = 3,4395556 + 0,30916667X_1 + 0,147X_2 \quad (4.6)$$

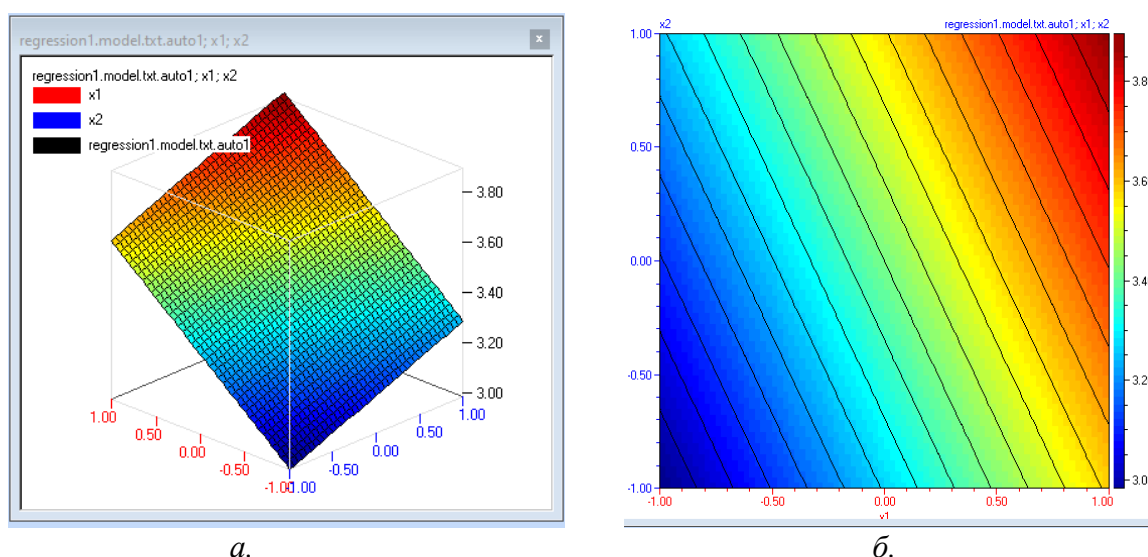
Проверката за адекватност на модела по критерия на Фишер съгласно 3.6, показва, че пресметнатата стойност е $F=2,44691$, е по-малка от табличната $F_T(0,05; 2; 6) = 5,14325$, което означава че полученият модел е адекватен. Графичните зависимости по 4.6 са представени на фиг.4.6.

4.2.2. Емпиричен модел за Y_2 (Т, бр.)

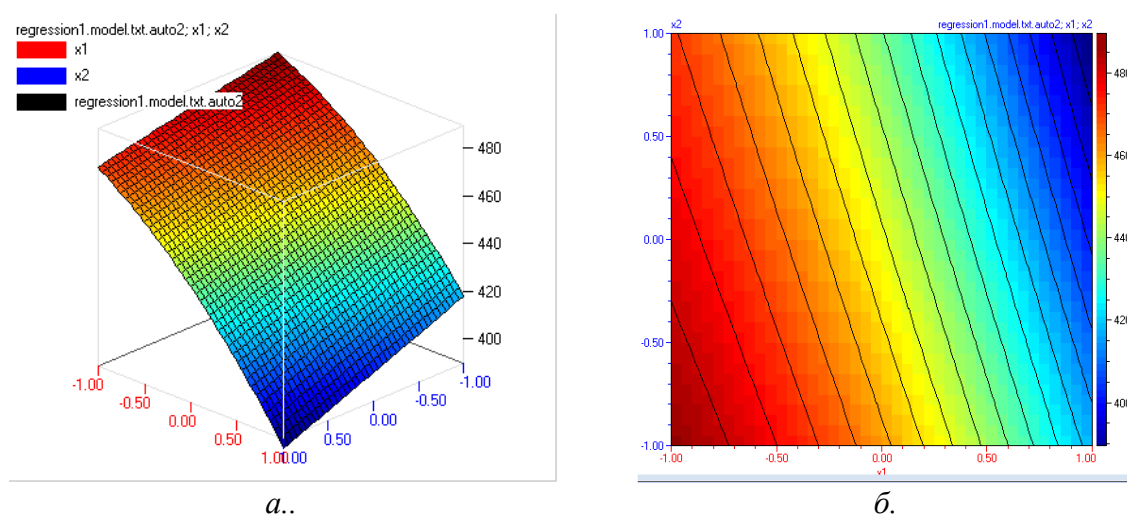
Получения регресионен модел за определяне трайността на инструмента (Т, бр.), при използване на иновативната конструкция ножодържач има вида 4.8.

$$Y_2 = 451,66667 - 38,333333X_1 - 11,666667X_2 - 8,3333333X_1^2 - 3,75X_1X_2 \quad (4.8)$$

Проверката за адекватност на модела по критерия на Фишер съгласно 3.6, показва, че пресметнатата стойност е $F=2,77645$, е по-малка от табличната $F_T(0,05; 4; 4) = 6,38823$, което означава че полученият модел е адекватен. Графичните зависимости по 4.8 са представени на фиг.4.9.



Фиг. 4.6. Графична интерпретация на математичния модел за Y_1
а – в трикоординатна система; б – в двукоординатна система.



Фиг. 4.9. Графична интерпретация на математичния модел за Y_2
а – в трикоординатна система; б – в двукоординатна система

4.3. Изводи

От проведените изследвания и получените при тях резултати могат да се формулират следните по-важни изводи:

1. Проследено е изменението на грапавостта при струговане на къси ротационни детайли в зависимост от скоростта на рязане - $V_c = 130 \div 170$ m/min, и подаването - $f = 0,12 \div 0,18$ mm/tur, при постоянна дълбочина на рязане - $a_p = 1,5$ mm.

2. Разработени са графични зависимости за изменение на средната грапавост - R_a , μm , във функция от скоростта на рязане и подаването, за партиди детайли от 50 до 550 броя.

3. Доказано е, че с нарастване броя на обработваните детайли от 50 до 550 средната грапавост на обработваната повърхнина нараства с $3,5 \div 4,5$ μm .

4. Доказано е, че по-съществено влияние върху средната грапавост оказва скоростта на рязане. С нарастването ѝ от 130 до 170 m/min грапавостта на обработваните повърхнини при партиди от 550 детайла нараства приблизително с 1 μm .

5. Доказано е, че при ограничение на грапавостта $R_a = 3,0$ μm със скорост на рязане 130 m/min, могат да се обработят до 450 детайла независимо от подаването. С нарастване скоростта на рязане до 170 m/min, при запазване изискването за грапавост могат да се обработят до 400 броя детайли.

6. На база получените експериментални резултати са съставени емпирични модели за влиянието на факторите скорост на рязане и подаване върху средната грапавост на обработваните повърхнини и трайността на инструмента.

7. Направен е дисперсионен анализ с Qv Stat Lab ANOVA и е доказано, че минимална средна грапавост на обработваните повърхнини съчетана с максимална трайност на металорежещият инструмент се постига при $V_c = 130$ m/min и $f = 0,12$ mm/tur.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Получените в процеса на изследване резултати позволяват да се формулират приноси в две основни направления – научно-приложни (с оригинален и потвърдителен характер) и приложни.

А. Научно-приложни приноси

А.1. Създаване на нови класификации, методи, конструкции, модели, методики

➤ Иновативна конструкция на бързосменен инструментален държач, увеличаваща трайността на инструмента, намаляваща разсейването на средната грапавост R_a и намаляване спомагателното време.

➤ Статистически подход за избор на инструментална екипировка.

➤ Математични модели на зависимостите на средната грапавост R_a и трайността на инструмента от скоростта на рязане и подаване.

А.2. Получаване и доказване на нови факти

➤ Използването на смазочно-охлаждаща течност ECOCOOL MACH 40 води до подобряване разсейването на контролирани диаметрални и осови размери.

Б. Приложни приноси

➤ Работоспособна конструкция бързосменен инструментален държач.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДОКТОРАНТУРАТА

1. **Karlovski G., K. Krumov, I. Aleksandrova, S. Tsenkulovski, I. Mitev.** Selection of Instrumentation Based on Statistical Analysis. In: 32nd International Scientific Symposium

Metrology and Metrology Assurance, MMA 2022, Conference Proceedings, Sozopol, 7-11 September 2022, Code 185634, DOI: 10.1109/MMA55579.2022.9992429, ISBN 978-166548569-2 (Scopus).

2. **Karlovski, G.**, K. Krumov, I. Aleksandrova, S. Tsenkulovski, Improving the Hard Turning Process when Machining Bearing Steels, XXXII International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance 2022”, Sozopol, 2022, \$31.00 ©2022 .

3. **Karlovski, G.**, A System for Quick-change Tool Mounting, „Автоматизация на дискретното производство“ бр.5, София, 2023, с.82÷85. ISSN 2682-9584

4. **Карловски, Г.**, Приложение за бързосменни държачи като начин за повишаване ефективността при производство на заготовки с CNC машини, „Автоматизация на дискретното производство“ бр.5, София, 2023, с.86÷90. ISSN 2682-9584.

5. **Karlovski, G.**, K. Krumov, I. Aleksandrova, Selection of Coolant and Cutting Based on Statistical Measurements when Working with Quick-Change Holders, XXXIII International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance 2023”, Sozopol, 2022, pp38÷42, ISSN 2603-3194.

TITLE: STUDY OF THE PARAMETERS OF THE TURNING PROCESS WHEN WORKING WITH QUICK-CHANGE TOOLHOLDERS

Author: mag. eng. Georgi Veselinov Karlovski

ABSTRACT: *In this dissertation work, an innovative design of a quick-change tool holder has been developed. Through statistical analysis, the technological advantages of the innovative design over monolithic tool holders have been proven regarding the average roughness of the machined surfaces and the durability of the tool.*

The influence of the type of lubricating and cooling fluid on the dispersions of controlled diametrical and linear dimensions has been monitored, as when turning with ECOCOL MACH 40 they are smaller, compared to Vasco 6000. The effectiveness of the developed innovative design of a quick-change tool holder has been implemented in production conditions when manufacturing bearing rings.

Empirical models have been developed to determine the average roughness of the machined surfaces and the tool life depending on the cutting speed and feed when using the innovative quick-change toolholder design.

Keywords: *quick-change toolholder, medium roughness, tool life, imperial models, coolants,*