



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. Таня Георгиева Аврамова

**УПРАВЛЕНИЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА КАЧЕСТВОТО НА
ОБРАБОТЕНИ ПОВЪРХНИНИ, ПОСРЕДСТВОМ ПРИЛОЖЕНИЕ
НА КОМБИНИРАНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за получаване на образователна и научна степен „Доктор”

Научен ръководител: доц. д-р инж. Евстати Лефтеров Лефтеров

Рецензенти:

- 1.....
- 2.....

Варна, 2014 г.

Дисертационният труд е обсъден на 18.06.2014г. в катедра „Технология на машиностроенето и металоурежещи машини” и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра „Технология на машиностроенето и металоурежещи машини”.

Автор: маг. инж. Таня Георгиева Аврамова

Заглавие: **„Управление на параметрите на качеството на обработени повърхнини, посредством приложение на комбинирани технологични въздействия”**



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. Таня Георгиева Аврамова

**УПРАВЛЕНИЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА КАЧЕСТВОТО НА
ОБРАБОТЕНИ ПОВЪРХНИНИ, ПОСРЕДСТВОМ ПРИЛОЖЕНИЕ НА
КОМБИНИРАНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за получаване на образователна и научна степен „Доктор”

Варна, 2014 г.

Дисертационният труд съдържа 141 страници, включително 83 фигури, 36 таблици, 19 математични зависимости и 8 приложения, оформени в увод, 6 глави, общи изводи, 8 приложения и списък на използваната литература от 102 заглавия, от които 52 на кирилица и 50 на латиница.

Означенията на фигурите и формулите в автореферата съвпадат с тези от дисертацията.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на г. от часа в..... на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора №...../..... г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензията и становищата) са на разположение на интересувашите се във ФД „Докторанти”, стая 318 НУК.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

В съвременното производство на хидравлични елементи стремежът е постигане на висока производителност, висока точност на формата и размера и ниска грапавост на обработваните повърхнини.

Съществува пряка връзка между параметрите на качеството на обработените повърхнини и техните експлоатационни характеристики. Функционалният анализ на поведението на повърхнините дава необходимостта от получаването на понижена грапавост и повишена точност на геометричните параметри на отворите на хидроцилиндри.

Решаването на проблема, свързан с повишаването на производителността и управлението и удовлетворяването на споменатите вече параметри на качеството, се крие в проектирането и използването на инструмент с комбинирано въздействие, извършващ едновременно няколко операции – свредловане (разстъргване) на отвори и последващо заглаждане чрез пластично деформиране.

Актуалността на проблема се потвърждава и от оскъдните сведения публикувани до момента във връзка с комбинирани методи за обработка на отвори чрез използването на инструмент с последователно въздействие.

Разработката на този дисертационен труд и получените резултати са в резултат на реализиране на проект № ПД11/09.04.2012 г. на тема: **„Изработване на лабораторна установка за изследване на технологичните въздействия и влиянието им върху качествените показатели на обработвани отвори“**. Това още веднъж потвърждава актуалността на проблема на настоящата дисертация.

Проблем

Подобряване на параметрите на качеството на повърхнини (отвори в нестандартни хидроцилиндри) обработени чрез комбинирани технологични въздействия.

Цел и задачи на изследването

Настоящият дисертационен труд има за цел да се разработи технологичен процес за свредловане (разстъргване) и калиброване на отвори в нестандартни хидроцилиндри с относително малка дължина и с вътрешен диаметър от 30 mm до 100 mm и проектира и изследва конструкции на комбиниран инструмент, осигуряващ оптимизация на параметрите на качеството (грапавост на обработваната повърхнина, точност на размера и отклонението от кръглост) на обработваната повърхност.

Реализирането на поставената цел изисква решаването на следните **основни задачи**:

1. Да се изследват теоретично и експериментално схемите на натоварване на режещите елементи на инструмента за комбинирана обработка с цел да се определят параметрите, посредством които ще се управлява процеса на заглаждане на обработваната повърхнина.
2. Да се изследва влиянието на конструктивните и технологични параметри върху силите F_1 и F_2 , действащи върху заглаждащите елементи и да се определят коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 спрямо всяка от направляващите.
3. Да се определи теоретично броя и геометрията на направляващо-заглаждащите елементи и тяхното разположение в пространството, при които се получат приблизително

еднакви стойности за силите F_1 и F_2 , действащи върху направляващите и коефициенти на устойчивост S_1 и S_2 по-големи от единица.

4. Да се конструират и изработят конструкции на комбинирани инструменти за обработка на отвори чрез разстъргване и последващо заглаждане с диаметри $\varnothing 40$, $\varnothing 75$ и $\varnothing 100$, посредством които да се проведат експерименталните изследвания.

5. Да се определи експериментално влиянието на качеството на обработваната чрез снемане на стружка повърхнина върху получаваната грапавост след заглаждане.

6. Да се определи експериментално точността на размера, отклонението от кръглост и отклонението от цилиндричност.

7. По експериментален път да се определи влиянието на конструкцията на комбинирания инструмента върху получаването на грапавостта на обработваната повърхност и получените деформации.

8. Да се направи съпоставка между теоретичните и експерименталните изследвания.

9. Да се разработи технологичен процес за комбинирано въздействие на инструмента при производството на хидроцилиндри от стомана S355 с ограничена дължина – при $\varnothing 40$ (L:D=6:1), при $\varnothing 75$ (L:D=3,2:1) и при $\varnothing 100$ (L:D=2,4:1).

Обект и предмет на изследването

Обект на изследването, към който е насочен настоящия дисертационен труд е въздействието на комбинирани методи за обработка върху обработваните повърхнини.

Предмет на изследването са параметрите на качеството получени след обработка с последователно въздействие.

Методи на изследване

Методите на изследването включват анализ и оценка на получаваните показатели на качеството. За тази цел са използвани числени методи, като създадените теоретико-математични модели са функционални и покриват всички възможни варианти за изследване.

При моделирането на зависимостите между режимните фактори и параметрите на качеството на обработаната повърхност се използва методика за поетапно теоретични и експериментално изследване на факторното пространство, получаване на математически модели на зависимостите между режимните фактори и параметрите на качеството, тяхната параметрична оптимизация и геометрична интерпретация се използва програмния продукт Explain 1.1.3.0.

Място на изследване

Провежданите в дисертацията изследвания са теоретични и експериментални. Теоретичните изследвания са извършвани в катедра „Технология на машиностроенето и металорежещи машини” на ТУ-Варна, експерименталните изследвания са проведени на територията на фирма SI PRO Ltd.

Научна новост на изследването

Научната новост се състои в следното:

✓ Разработен е комбиниран инструмент за разширяване на отвори, работещ чрез снемане на стружка и едновременно заглаждане с два елемента, които работят при условия на триене при плъзгане и играят роля на направляващи опори. Във връзка с тази разработка е

излязло решение за регистрация на полезен модел с входящ № 2472/18.06.2013 г. от Патентното ведомство на Република България;

- ✓ Разработен методика за определяне на диаметъра на инструмент с три режещи пластини, която включва схема за разположение на режещите пластини и получените в следствие от нея математични зависимости;

- ✓ Изведени са математични зависимости за изчисляването на силите, действащите на опорно-заглаждащите елементи, различни според квадрантите, в които попадат направляващите пластини;

- ✓ Разработен е трикомпонентен динамометър със сменяем модул с режеща пластина за измерването на компонентите на силата на рязане;

- ✓ Изработени са четири инструмента с последователно въздействие за изследването на влиянието на комбинираната обработка върху обработваната повърхнина.

Практическа ценност на изследването

Създадената методика за определянето на диаметъра на инструмент за обработка на отвори позволява бърз и лесен начин за определяне на диаметрите на инструмента в зависимост от режещите пластини (техните геометрични параметри). Изведените математични зависимости за определяне на натоварването в опорно-заглаждащите елементи осигуряват възможност да се определи на етап конструиране на инструмента разположението на направляващите. Ползността на теоретичните заключения се определя в това, че позволяват да се намали броя на конструкциите на инструменти, давайки информация за оптималните варианти.

Разработените методики и инструменти за последователно въздействие могат да се използват от всеки производител, занимаващ се с конструиране и изработване на хидравлични елементи или отвори с високи технологични изисквания за повишаване на производителността и подобряване на параметрите на качеството.

Апробация на изследването

Основните положения и резултати в определени етапи от дисертационния труд са докладвани и публикувани на следните места:

- ✓ IX международен конгрес „Машини, Технологии, Материали”, 2012 г., ISSN 1310-3946 – 1 доклад;

- ✓ Трети международен научен конгрес, 50 години Технически Университет – Варна, Варна, 2012, ISBN 978-954-20-0553-7 – 2 доклада;

- ✓ International virtual journal – Machines, Technologies, Material, Scientific technical Union of Mechanical Engineering, Year VII, Issue 10, 2013, ISSN 1313-0226 – 1 доклад;

- ✓ Списание „Машиностроителна техника и технологии”, издание ТО на НТС – Варна и ТУ- Варна, 2012 г., ISSN 1312 – 0859 – 3 статии

- ✓ Излязло решение за регистрация на полезен модел с вх. № 2472/18.06.2013 г. за регистрация на полезен модел в Патентното ведомство на Република България.

Публикации по дисертационния труд

Направени са общо седем публикации по дисертацията. Една от тях е самостоятелна, а останалите шест са в съавторство. Две от публикациите са по докторантски проект, в който участва и работи авторът на дисертацията.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

УВОД

Повишаването на ефективността и качеството на обработките се явяват главна задача поставена пред съвременното машиностроене. Все по-високите изисквания, които се поставят към производството на хидравлични елементи, предизвикват необходимост от разработване на принципно нови металорежещи инструменти с високи експлоатационни характеристики.

Обработването на отворите на хидроцилиндрите е специфична технологична операция, за изпълнението на която е необходимо създаването на специални инструменти, устройства и оборудване. Технологията на обработване на тези точни отвори има ред специфични особености, което я отличава от технологиите в общото машиностроене.

В съвременното производство на хидравлични елементи стремежът е постигане на висока производителност, висока точност на формата и размера и ниска грапавост на обработваните повърхнини.

Решаването на проблема, свързан с повишаването на производителността и управлението и удовлетворяването на споменатите вече параметри на качеството, се крие в прилагането на инструмент с комбинирано въздействие, извършващ едновременно няколко операции – свредловане или разстъргване на отвори и последващо заглаждане чрез пластично деформиране.

За осигуряване на по-голяма точност на размерите и формата на повърхнините обработени чрез комбинирана обработка (разширяване на отвори и последващо пластично деформиране) е необходимо да се определят и анализират факторите, влияещи на механизма на размерообразуването, осъществявано от инструмента с последователно въздействие.

Една от основните особености при работата на инструменти за обработка на отвори с наличието на направляващи (най-често две), е че те контактуват със стените на вече обработения участък на отвора. Като основа при разработването на комбиниран инструмент служи класическия инструмент за обработка на отвори с направляващи, гарантиращи надеждното водене и гарантиране на устойчивата работа на инструмента. Освен изброените предназначения при определени условия въздействието на тези елементи биха указали съществено влияние и върху формирането на микрорелефа на обработваната повърхнина.

Процесът на проектирането на комбиниран инструмент с последователно въздействие обхваща определянето на: разположението на опорно-заглаждащите елементи на металообработващите инструменти; параметрите влияещи на комбинираната обработка – силите F_1 [N] и F_2 [N], действащи в направляващите и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 ; изследването на влиянието на положението в пространството, размерите, формата и други параметри на елементите на направляване и заглаждане при обработка на вътрешни цилиндрични повърхнини; изследването на условията на триене и влиянието им, както върху грапавостта, така и върху формата на обработваните повърхнини.

В настоящия дисертационен труд са разработени метод и комбинирани инструменти за обработка на отвори с последователно въздействие.

ГЛАВА I ОБЗОР И АНАЛИЗ НА ПУБЛИКУВАНИТЕ МАТЕРИАЛИ

Дисертацията започва с Глава I Обзор и анализ на публикуваните материали, чиято цел е да разгледа информацията публикувана в литературните източници свързани с разглеждания от труда проблем. Анализът на материалите започва с методите за обработка

на отвори (на хидравлични елементи) с допълнително въздействие, каквито са свредловането и/или разстъргването с последваща повърхностна пластична обработка. Изработването на основния елемент на хидроцилиндрите, а именно тялото, най-често е свързано с обработката на дълбоки отвори, което в голяма степен затруднява съчетаването на двата вида обработки, особено ако трябва да се извършват едновременно.

При комбинираните методи за въздействие върху вътрешни ротационни повърхнини е възможно прилагането на процес дорноване, но при прилагане на търкалящи се дорнове, показани в тази глава. При прилагане на схемата, осъществяваща триене при плъзгане е невъзможно да се осъществи траектория на относителното работно движение на комбиниран инструмент (винтова линия).

От известните конструкции и процеси на дорноване при разработване на методи с комбинирано въздействие определен интерес представлява и схемата на процеса на повърхностно дорноване при въртяща се заготовка и деформиращ елемент при използване на универсална технологична екипировка, наподобяваща или универсален струг, или машина за обработка на дълбоки отвори. При този вид дорноване трудно може да се синхронизира движението на режещия и деформиращ елемент на комбиниран инструмент, като се има предвид, че дорнования елемент се самозадвижва от ротацията на заготовката.

За да се анализират новостите и разработките в сферата на комбинираните обработки на отвори, е направен обзор на всички известни инструменти за комбинирана обработка (обработване на отвори и последващо заглаждане) на водещите фирми за проектиране и производство на режещи инструменти, както и на патентованите конструкции сходни инструменти.

Разгледани са особеностите и разновидностите на инструментите за дълбоки отвори и известните методики за конструирането им с направляващи пластини. Във тази връзка е направен анализ на разновидностите на направляващите елементи, характеристиките им и област на прилагане, както и конструкцията на тези опорно-заглаждащи елементи и тяхното закрепване към работната част на инструмента.

Разгледани са дефектите, които могат да възникнат при обработката на дълбоки отвори.

При хидравличните цилиндри важно условие е да се постигне колкото е възможно по-малко отклонение от кръглост, поради тази причина са разгледани методи за намаляването на този проблем при обработка.

Основно дисертацията разглежда параметрите на качеството на обработени повърхнини, получени посредством приложение на комбинираните технологични въздействия, поради това са анализирани методите и средствата за комбинираните технологични въздействия.

На база анализа на публикуваните в литературата материали, имащи връзка с темата на дисертацията са изведени следните цел и задачи, които трябва да се постигнат и решат при разработването на дисертационния труд:

✓ **Цел:**

Да се разработи технологичен процес за свредловане (разстъргване) и калиброване на отвори в нестандартни хидроцилиндри с относително малка дължина и с вътрешен диаметър от 30 mm до 100 mm и проектира и изследва конструкции на комбиниран инструмент, осигуряващ оптимизация на параметрите на качеството (грапавост на обработваната повърхнина, точност на размера и отклонението от кръглост) на обработваната повърхност.

✓ **Задачи:**

1. Да се изследват теоретично и експериментално схемите на натоварване на режещите елементи на инструмента за комбинирана обработка с цел да се определят параметрите, посредством които ще се управлява процеса на заглаждане на обработваната повърхнина.

2. Да се изследва влиянието на конструктивните и технологични параметри върху силите F_1 и F_2 , действащи върху заглаждащите елементи и да се определят коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 спрямо всяка от направляващите.

3. Да се определи теоретично броя и геометрията на направляващо-заглаждащите елементи и тяхното разположение в пространството, при които се получат приблизително еднакви стойности за силите F_1 и F_2 , действащи върху направляващите и коефициенти на устойчивост S_1 и S_2 по-големи от единица.

4. Да се конструират и изработят конструкции на комбинирани инструменти за обработка на отвори чрез разстъргване и последващо заглаждане с диаметри $\varnothing 40$, $\varnothing 75$ и $\varnothing 100$, посредством които да се проведат експерименталните изследвания.

5. Да се определи експериментално влиянието на качеството на обработваната чрез снемане на стружка повърхнина върху получаваната грапавост след заглаждане.

6. Да се определи експериментално точността на размера, отклонението от кръглост и отклонението от цилиндричност.

7. По експериментален път да се определи влиянието на конструкцията на комбинирания инструмента върху получаването на грапавостта на обработваната повърхност и получените деформации.

8. Да се направи съпоставка между теоретичните и експерименталните изследвания.

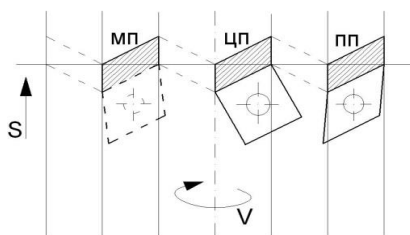
9. Да се разработи технологичен процес за комбинирано въздействие на инструмента при производството на хидроцилиндри от стомана S355 с ограничена дължина – при $\varnothing 40$ ($L:D=6:1$), при $\varnothing 75$ ($L:D=3,2:1$) и при $\varnothing 100$ ($L:D=2,4:1$).

ГЛАВА II МОДЕЛИРАНЕ НА СХЕМАТА НА РАБОТА НА ИНСТРУМЕНТ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА ОТВОРИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Във втора глава са решени първите две от поставените задачи.

2.1. Схеми на изрязване на прибавката при свредловане и разстъргване

За да се реши първата от поставените задачи, са разгледани познатите схеми за изрязване на прибавката при свредловане и разстъргване. След анализа им е избрана най-подходящата за разглеждания случай – метод на деление на ширината на срязвания слой метал с едновременно врязване на пластините в материала при три режещи пластини за покриване на по-голям диаметър на отвора (фиг.2.2).



Фиг. 2.2 Схема на изрязване на прибавката при свредло с три режещи пластини

мп – междинна пластина; *цп* – централна пластина
пп – периферна пластина; *V* – скорост нарязане; *s* – подаване

2.2. Формиране на диаметъра на инструмента

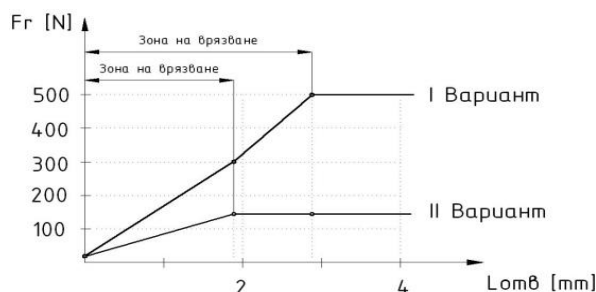
Определено е формирането на инструмента, което включва анализ на възможните форми на режещи пластини, които могат да бъдат използвани за конструирания инструмент и анализ на схемите на разположение на режещите пластини, като тук са разгледани предимствата и недостатъците на последователното и едновременно връзване на режещите пластини.

На фиг.2.8 са показани двете схеми на разполагане на режещите пластини при условие, че свредлата са с три режещи ръба.

При I вариант инструмента се връзва най-напред с централната и междинна пластина, след което постепенно навлиза периферната режеща пластина.

В предлагания II вариант трите режещи пластини се връзват едновременно, тъй като върховете им са разположени в една равнина.

За да се направи заключение кой от двата варианта е по – удачен е измерена радиалната сила с помощта на динамометър, действаща на инструмента и промяната ѝ при връзване на същия (фиг.2.9).



Фиг.2.9 Изменение на радиалната сила в зависимост от дължината на връзване

От показаната зависимост на фиг.2.9 могат да се направят следните заключения:

- ✓ При I вариант радиалната сила е по-голяма (500 N), което се дължи на различното направление на компонентата F_y за периферната пластина;
- ✓ Дължината на участъка на връзване е приблизително два пъти по-голям от II вариант, което изисква технологична екипировка подпомагаща връзването и първоначалното подвеждане на инструмента;
- ✓ При II вариант радиалната сила е приблизително два пъти по-малка, а участъка на връзване 1,8 mm;
- ✓ При това разположение на режещите пластини е възможно връзване без допълнителна технологична екипировка.

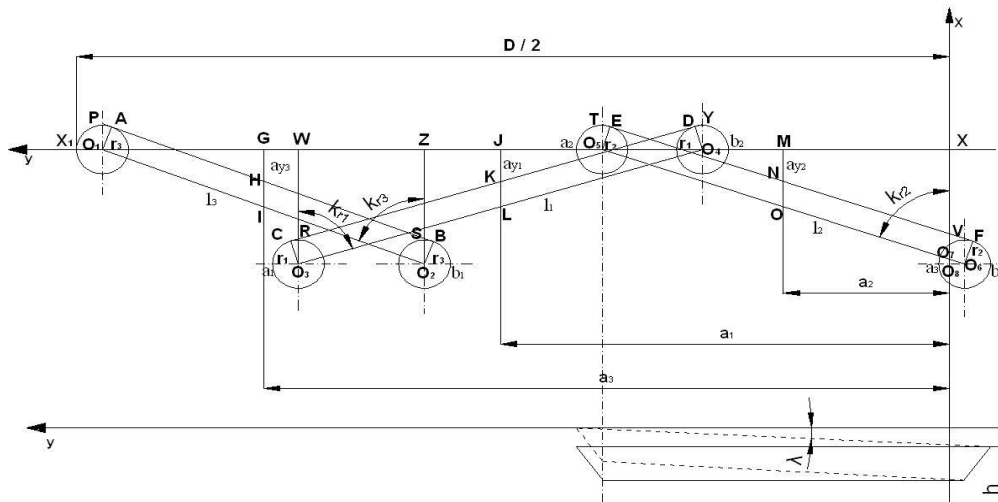
Едно от съображенията при избор на режещи пластини е определяне на вида им. Тъй като формата е определяща не само от гледна точка на типоразмера, но и от конструктивни съображения.

Моделирайки режещата част на свредло с три режещи пластини, става ясно, че централни и междинни могат да бъдат пластини тип CCMT, TPMT, SCMT.

При определяне на формата на периферна пластина се имат предвид някои конструктивни и якостни съображения.

Разглеждайки предимствата и недостатъците изброени при форми “С” и “Т” (означение по ISO), при II вариант (предлаган в разработката) могат да се използват пластини CCMT, CPMT или TCMT с дължини на режещия ръб 6 и 9 mm.

В настоящата глава е разработена методика за формиране на диаметъра на инструмента, като е разработената схемата на връзване, от която са изведени необходимите математични зависимости (фиг.2.11):



Фиг.2.11 Схема на разположение на режещите пластини

- ✓ D – диаметър на свредлото, [mm]. В случая диаметърът на свредлото зависи от избраната дължина на режещия ръб на пластините и установъчните ъгли K_{r1} , K_{r2} , K_{r3} ;
- ✓ l_1 , l_2 , l_3 – дължина на режещия ръб на пластините, [mm]. В случая пластините тип ССМТ и ТРМТ са с дължини на режещите ръбове 6 и 9 mm;
- ✓ r_1 , r_2 , r_3 – радиуси на закръгление на върховете на междинната, централната и периферната пластини, [mm]. В разглеждания случай приемаме, че радиусите на закръгление са равни помежду си и $r = 0,4$ mm;
- ✓ h – разстоянието от режещия ръб на централната пластина до диаметралната равнина, [mm]. При проектирането на свредла $h = 0,2 \div 0,4$. Ако $h < 0,2$ скоростта на рязане клони към нула, ако $h=0$ имаме точка от режещия ръб с нулева скорост на рязане и ако $h > 0,4$ имаме “нулево” стебло с голям диаметър. И в трите изброени случая пластината се чупи. Показани са два варианта за получаването му: при $\lambda=0^\circ$ и $\lambda \neq 0$ (λ – ъгъл на наклона на главния режещ ръб);
- ✓ K_{r1} , K_{r2} , K_{r3} – установъчни ъгли, които зависят от вида на обработваемия материал и нормалното протичане на процеса на рязане, [°]. В случая установъчните ъгли варират в границата $85^\circ \div 87^\circ$ и са подходящи за обработване на конструкционни стомани;
- ✓ a_1b_1 , a_2b_2 – разстояния, на припокриване на междинната и периферната пластина и централната и периферната пластина, [mm]. Условието е този размер да бъде в границите от $1 \div 3$ mm;
- ✓ a_3b_3 – разстоянието, на което върха на централната пластина подминава оста на ротация на свредлото, [mm]. Границите, в които варира размерът на това разстояние е от $1 \div 2$ mm. Това условие е необходимо, за да не се получи разрушаване на централната пластина при ниските скорости на рязане.

Поради конструктивните особености на инструмента има ограничения във формата на използваните пластини. Централната и междинната пластина могат да бъдат с триъгълна, ромбоидна или квадратна форма, а периферната пластина може да бъде с триъгълна или ромбоидна форма (при условие, че острия ъгъл на ромба е в границите $55^\circ \div 80^\circ$).

Определянето на D във функция от $l_1, l_2, l_3, \kappa_{r1}, \kappa_{r2}, \kappa_{r3}$ се извършва по зависимост (2.1), а дължината на зоната на припокриване $a_2 b_2$ се определя по зависимост (2.2) (фиг.2.11):

$$D = 2 \cdot [(l_2 - 2 \cdot r_2) \cdot \sin k_{r2} - a_3 \cdot b_3 + r_2 + (l_1 - 2 \cdot r_1) \cdot \sin k_{r1} - a_2 \cdot b_2 + (r_1 + r_2) + (l_3 - 2 \cdot r_3) \cdot \sin k_{r3} - a_1 \cdot b_1 + (r_1 + r_2) + r_1] \quad (2.1)$$

$$a_2 \cdot b_2 = [(l_2 - 2 \cdot r_2) \cdot \sin k_{r2} - a_3 \cdot b_3 + r_2 + (l_1 - 2 \cdot r_1) \cdot \sin k_{r1} - \frac{D}{2} + (r_1 + r_2) + (l_3 - 2 \cdot r_3) \cdot \sin k_{r3} - a_1 \cdot b_1 + (r_1 + r_2) + r_1] \quad (2.2)$$

Необходимо е да се определят също и координатите на приложните точки на силите на рязане (a_{y1}, a_{y2}, a_{y3}) върху режещите ръбове на всяка една от пластините. За пресмятането на реакциите, възникващи в направляващите пластини и коефициента на сигурност е необходимо да се определят и разстоянията от приложните точки на силите на рязане до оста на свредлото – a_1, a_2, a_3 (при условие, че са приведени силите на рязане като концентрирани в активната част на режещия ръб). За целта се въвежда координатна система $Oxuz$, като оста x съвпада с оста на въртене на свредлото, а равнината yOz преминава през центъра на припокриване (фиг.2.11). Тези зависимости са (2.3).

$$a_{y1} = \frac{0,5 \cdot (l_1 - 2 \cdot r_1) \cdot \cos k_{r1} \cdot \sin k_{r1} - r_1}{\sin k_{r1}}$$

$$a_1 = (l_2 - 2 \cdot r_2) \cdot \sin k_{r2} - a_3 \cdot b_3 + r_2 + 0,5 \cdot (l_1 - 2 \cdot r_1) \cdot \sin k_{r1} - a_2 \cdot b_2 + (r_1 + r_2)$$

$$a_{y2} = 0,5 \left[l_2 - 2 \cdot r_2 - \frac{a_3 \cdot b_3 - r_2}{\sin k_{r2}} \right] \cdot \cos k_{r2} - \frac{r_2}{\sin k_{r2}} \quad (2.3)$$

$$a_2 = 0,5 [(l_2 - 2 \cdot r_2) \cdot \sin k_{r2} - a_3 \cdot b_3 + r_2]$$

$$a_{y3} = \frac{0,5 \cdot (l_3 - 2 \cdot r_3) \cdot \cos k_{r3} \cdot \sin k_{r3} - r_3}{\sin k_{r3}}$$

$$a_3 = (l_2 - 2 \cdot r_2) \cdot \sin k_{r2} - a_3 \cdot b_3 + r_2 + (l_1 - 2 \cdot r_1) \cdot \sin k_{r1} - a_2 \cdot b_2 + (r_1 + r_2) + 0,5 \cdot (l_3 - 2 \cdot r_3) \cdot \sin k_{r3} - a_1 \cdot b_1 + (r_1 + r_2)$$

При този подход за определяне на приложните точки на силите на рязане върху режещите ръбове се допускат определени неточности поради факта, че се приемат праволинейни. В действителност криволинейните участъци променят в незначителна степен дължината на режещия ръб и не оказват съществено влияние.

Определя се конструкцията на инструмента в челно сечение, тъй като то оказва влияние върху получаването на силовото натоварване на инструмента.

Ако се фиксира спрямо координатната система $Oxuz$ разположението на първия режещ ръб в челно сечение, например централната пластина, то средната и периферната пластина могат да заемат теоретично безброй положения спрямо централната. Те се ограничават от някои технологични и конструктивни съображения. Като параметър, характеризиращ взаимното положение на режещите ръбове в челното сечение, се въвеждат ъглите ψ_1 и ψ_2 . Ъглите ψ_1 и ψ_2 влияят върху разположението на пространствената система сили на рязане спрямо оста на инструмента. Следователно, изменяйки ъглите ψ_1 и ψ_2 ще се получи различно приведено натоварване към запънатото сечение на инструмента.

В случая ъглите ψ_1 и ψ_2 се изменят за всеки конструктивен вариант като зависят от:

- ✓ технологичните възможности за поместване на пространствата за транспортиране на стружката;
- ✓ якостно осигуряване на режещата част.

Системата сили, действащи на свредловата глава, включват в себе си не само възникващите в процеса на стружкообразуване и действащите на режещите пластини сили, но и силите на реакциите, действащи на направляващите планки, големината и направлението, които определят устойчивостта и доброто направление на свредловата глава. За да се постигне рационална конструкция на свредловата глава, се поставят следните изисквания към режещите пластини и направляващите планки:

✓ Геометрията на режещия клин и съответното разположение и разделяне на прибавката следва да се подберат така, че сумата от възникващите в пластините сили да осигурява надеждното и устойчиво положение на главата по време на работа;

✓ Налягането в отделните направляващи пластини трябва да бъде минималното и еднакво до толкова, че направляващите пластини да се подлагат на не голямо и еднакво износване.

2.3. Схеми на натоварване на инструментите

От двадесет и седем (27) на брой разгледани конструктивни варианти за нуждите на фирма SI PRO Ltd са избрани тези, показани в Табл.2.1.

Табл.2.1 Конструктивни варианти на свредла с три пластини

Вариант №	κ_{r1} [°]	κ_{r2} [°]	κ_{r3} [°]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	D [mm]
1	87	87	87	6	6	6	30
2	86	85	87	6	6	6	30
3	86	87	85	6	6	6	30
4	87	86	85	6	6	6	30
5	87	87	87	9	9	9	48
6	86	85	87	9	9	9	48
7	86	87	85	9	9	9	48
8	87	86	85	9	9	9	48

Разработени са 17 /седемнадесет/ схеми на натоварване на инструмента. Това са общия брой варианти, при които режещите пластини са разположени една спрямо друга на различни ъгли ψ_1 и ψ_2 и се спазват някои конструктивни особености свързани с разположението на режещите и направляващите пластини, а именно: режещите пластини трябва да са така разположени, че да се осигури възможност за поместване на стружкоотвеждащите канали; направляващите пластини трябва да са поместени така, че да не се падат над кухината за отвеждане на стружката (от якостна гледна точка); не се допуска диаметрално разположение на направляващите пластини; не е удачно поместването на една от опорно-заглаждащите пластини в зоната на периферната пластина.

Като изходна схема за изследване на влиянието на ъглите ψ_1 и ψ_2 се разглежда варианта на разположение на режещите пластини, при който режещия ръб на централната пластина е фиксиран спрямо оста Y, а междинната и периферната пластина лежат на ос Y.

I Вариант	Уравнения за равновесие - вариант I
	$R_x = -F_{x1} - F_{x2} - F_{x3}$ $R_y = -F_{y1} - F_{y2} - F_{y3}$ $R_z = -F_{z1} + F_{z2} + F_{z3}$ $M_x = -F_{z1} \cdot a_1 - F_{z2} \cdot a_2 - F_{z3} \cdot a_3$ $M_y = -F_{z1} \cdot a_{y1} + F_{z2} \cdot a_{y2} + F_{z3} \cdot a_{y3}$ $M_z = F_{x1} \cdot a_1 + F_{y1} \cdot a_{y1} - F_{x2} \cdot a_2 + F_{y2} \cdot a_{y2} - F_{x3} \cdot a_3 + F_{y3} \cdot a_{y3}$

Конструктивните варианти на инструмента за разширяване на отвори са дадени в табл.2.3. Последователността на вариантите, посочени в таблицата, са както следва: първи вариант за инструмент с една пластина, втори вариант за инструмент, работещ при деление на дебелината на срязвания слой метал, трети вариант за инструмент, работещ при деление на ширината на срязвания слой метал и четвърти вариант, работещ при комбинирана схема на изрязване на прибавката.

Табл.2.3 Конструктивни варианти на инструмент за разширяване на отвори

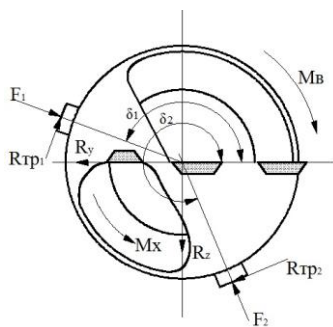
Вариант №	κ_{r1} [°]	κ_{r2} [°]	κ_{r3} [°]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	D [mm]
1	0	0	87	0	0	6	40
2	87	0	87	6	0	6	40
3	87	0	87	6	0	6	40
4	87	0	87	6	0	9	40

Схемите на натоварване на инструмента за разстъргване се получават аналогично на тези за инструмент за свредловане.

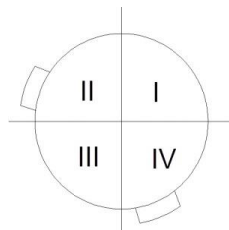
2.4. Сили, действащи на заглаждащите опорни елементи

За математическото изразяване на положението на направляващите елементи се въвеждат ъглите δ_1 и δ_2 , които се измерват от повърхността на главната режеща пластина в направление обратно на часовниковата стрелка (фиг.2.12).

Определянето на положението на направляващите пластини изисква изследването на устойчивостта в целия диапазон на промяна на ъглите δ_1 и δ_2 (фиг.2.13). От това в кой квадрант е всяка една от направляващите зависи какви комбинации могат да бъдат осъществени между тях.



Фиг.2.12 Възникващи реакции от силите на рязане в процеса на снемане на стружката



Фиг.2.13 Зони на разположение на направляващите

Това условие не е достатъчно, тъй като има зони, в които направляващите не могат да бъдат поставени. Съображенията, които се съблюдават са следните:

- ✓ от якостна гледна точка направляващите не се монтират над кухина за отвеждане на стружката;
- ✓ не се допуска диаметрално разположение на направляващите;
- ✓ не е удачно разполагане на една от направляващите в зоната на периферната режеща пластина.

С оглед на това зависимостите за определяне на силите F_1 и F_2 за свредло с три режещи пластини са различни в зависимост от квадрантите, в които се поместват направляващите пластини. В по-голямата част от случаите се поставят в II и IV квадрант, при което F_1 и F_2 се определят по следните зависимости:

$$F_1 = \frac{R_y \cdot (\mu \cdot \cos \delta_2 + \sin \delta_2) - R_z \cdot (\cos \delta_2 - \mu \cdot \sin \delta_2)}{(\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1) \cdot (\mu \cdot \cos \delta_2 + \sin \delta_2) + (\sin \delta_1 + \mu \cdot \cos \delta_1) \cdot (\cos \delta_2 - \mu \cdot \sin \delta_2)} \quad (2.5)$$

$$F_2 = \frac{R_y \cdot (\mu \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_1) - R_z \cdot (\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1)}{(\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1) \cdot (\mu \cdot \cos \delta_2 + \sin \delta_2) + (\sin \delta_1 + \mu \cdot \cos \delta_1) \cdot (\cos \delta_2 - \mu \cdot \sin \delta_2)}$$

Зависимостите за останалите комбинации от квадранти са, както следва:

- ✓ Поместване на направляващите пластини в II и III квадрант

$$F_1 = \frac{R_z \cdot (\cos \delta_2 - \mu \cdot \sin \delta_2) - R_y \cdot (\mu \cdot \cos \delta_2 + \sin \delta_2)}{(\mu \cdot \sin \delta_2 - \cos \delta_2) \cdot (\mu \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_1) - (\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1) \cdot (\sin \delta_2 + \mu \cdot \cos \delta_2)}$$

$$F_2 = \frac{R_y \cdot (\mu \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_1) + R_z \cdot (\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1)}{(\mu \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_1) \cdot (\mu \cdot \sin \delta_2 - \cos \delta_2) - (\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1) \cdot (\mu \cdot \cos \delta_2 + \sin \delta_2)} \quad (2.6)$$

- ✓ Поместване на направляващите пластини в III и IV квадрант

$$F_1 = \frac{R_z \cdot (\cos \delta_2 - \mu \cdot \sin \delta_2) - R_y \cdot (\mu \cdot \cos \delta_2 + \sin \delta_2)}{(\mu \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_1) \cdot (\mu \cdot \sin \delta_2 - \cos \delta_2) - (\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1) \cdot (\sin \delta_2 + \mu \cdot \cos \delta_2)}$$

$$F_2 = \frac{R_z \cdot (\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1) + R_y \cdot (\mu \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_1)}{(\mu \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_1) \cdot (\mu \cdot \sin \delta_2 - \cos \delta_2) - (\mu \cdot \sin \delta_1 - \cos \delta_1) \cdot (\sin \delta_2 + \mu \cdot \cos \delta_2)} \quad (2.7)$$

Надеждното направление на режещата част на свредлото в отвор се определя от коефициента на устойчивост, който се пресмята като отношение на статичните към въртящите моменти. Математичните зависимости за пресмятане на статичните и въртящите моменти са различни и зависят от квадрантите, в които са поместени направляващите пластини (виж фиг.1.7).

Известните зависимости позволяват да се определят параметрите, посредством които може да се разработят инструменти за обработка на отвори с последователно въздействие и да се получат повърхнини с различно качество. Анализирайки получените зависимости за формиране диаметъра (2.1) при свредловане или разширяване на отвори, параметрите може да се разделят на две групи:

- ✓ Параметри на режещата част ($l, \kappa_r, \gamma, h, \psi_1, \psi_2$);
- ✓ Параметри на заглаждащата част (δ_1 и δ_2);

Освен изброените параметри е необходимо да се изследват и режимите на рязане и заглаждане ($V, S, D_{\text{на началния отвор}}$ и други).

2.5. Изводи

На база разработената глава II са изведени следните изводи:

1. След анализа на съществуващите схеми на изрязване на прибавката е направен следния избор: конструираният комбиниран инструмент ще работи и при свредловане, и при разстъргване по метода на деление на ширината на срязвания слой метал при едновременно връзване на твърдосплавните пластини в материала. Като критерии са използвани условията за едновременно връзване на режещите пластини, минималната радиална сила в началото на обработката, равномерно топлинно натоварване и еднаквото износване на връзващите се участъци.

2. След анализа на схемите на разположение на режещите пластини чрез измерването на радиалната сила, действаща на инструмента и промяната ѝ при връзване на същия се констатира следното:

- ✓ При последователно връзване на режещите пластини в материала радиалната сила е приблизително два пъти по-голяма от тази, получавана при едновременно връзване на пластините;

✓ Дължината на участъка на връзване при последователното връзване е приблизително два пъти по – голям от този при едновременното връзване, което изисква технологична екипировка подпомагаща връзването и първоначалното подвеждане на инструмента;

✓ При едновременното връзване на пластините е възможно подвеждане без допълнителна технологична екипировка.

3. Разглеждайки предимствата и недостатъците изброени при форми “С” и “Т” (означение по ISO), при II вариант (предлаган в разработката) могат да се използват пластини CCMT, CPMT или TCMТ с дължини на режещия ръб 6 и 9 mm.

4. Разработена е методика за определяне на диаметъра на инструмент с три режещи пластини, която включва схема за разположение на режещите пластини и получените в следствие от нея математични зависимости.

5. На база изведената математична зависимост (2.1) за определяне диаметъра на инструмента са получени 27 конструктивни варианта, зависещи от установъчния ъгъл κ и за по нататъшно изследване са избрани общо 8 варианта – четири при дължина на режещата пластина $l=6$ mm и четири при дължина на режещата пластина $l=9$ mm, съобразени с нуждите на фирма SI PRO Ltd.

6. За изследването на геометричните характеристики на напречното сечение и аналитично определяне на натоварването на инструмента при обработване на отвори чрез свредловане са разработени общо седемнадесет (17) варианта (зависещи от ъглите на разположение на режещите пластини ψ_1 и ψ_2), а при обработване чрез разстъргване са разработени общо тринадесет (13) варианта (зависещи от ъглите на разположение на режещите пластини ψ_1 и ψ_2).

7. Изведени са математични зависимости за изчисляването на силите, действащите на опорно-заглаждащите елементи. Тези зависимости са различни според квадрантите, в които попадат направляващите пластини.

ГЛАВА III ПРЕДВАРИТЕЛНИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Една от важните задачи преди да бъде конструиран комбиниран инструмент с последователно въздействие е да се определи неговата режеща част.

За проектиране на режещата част на инструменти за свредловане и разширяване на отвори е необходимо да се проведат експериментални изследвания свързани с измерването на:

✓ Съставляващите F_x , F_y и F_z на силата на рязане в зависимост от конструктивните и геометричните параметри на режещите пластини;

✓ Съставляващите F_x , F_y и F_z в зависимост от режимите на рязане;

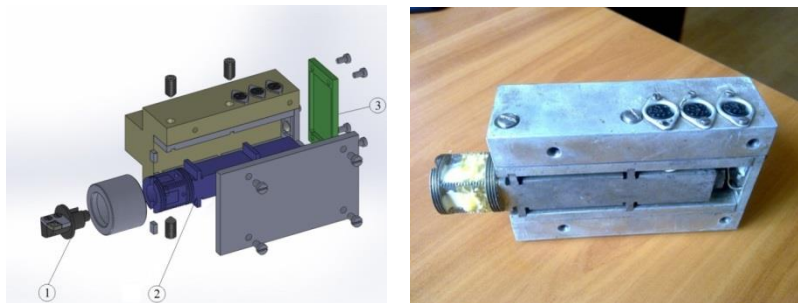
✓ Радиалната сила при връзване.

3.1. Проектиране и изработване на трикомпонентен динамометър

За извършване на измерванията на съставляващите F_x , F_y и F_z на силата на рязане е необходимо да се проектира и изработи трикомпонентен динамометър (фиг.3.1), работещ в диапазона 300÷3000 N. Чрез него се симулира работата на централна, междинна или периферна режеща пластина.

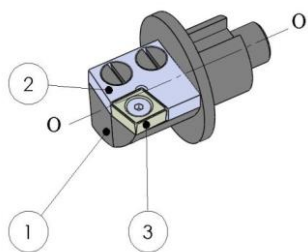
Режещият модул (фиг.3.2) се състои от тяло 1, плоча 2 и режеща пластина 3 (от твърда сплав P30). Плочи 2 се изработват с различни по форма, размер и ориентация изрязани

участъци, които играят роля на страничните стени на леглата на режещите пластини 3. Основата, върху която лягат пластините 3 и плоча 2 е обработена с висока точност и ниска грапавост и осигурява надеждно базиране на режещите пластини. За измерване на съставляващите F_x , F_y и F_z на силата на рязане е създадена експериментална установка показана на фиг.3.3.



Фиг. 3.1 Трикомпонентен динамометър

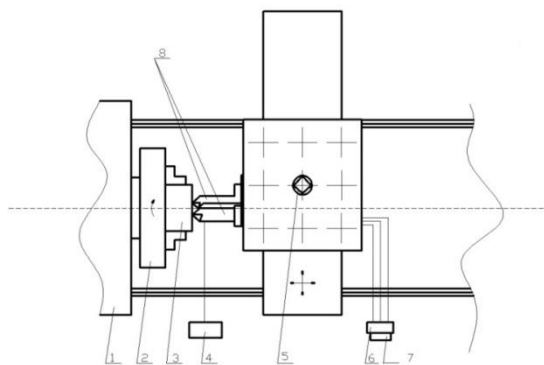
1 – сменяем модул; 2 – еластичен елемент (грета); 3 - еластичен елемент (плоча)



Използваната металорежеща машина СП586 позволява безстепенно регулиране на честотата на въртене от $50 \div 2500 \text{ min}^{-1}$ и подавания от $0,01 \div 40,9 \text{ mm/rev}$.

За измерване на компонентите на силата на рязане, отнасяща се за централна, междинна или периферна пластинка се подготвят специални по форма и размери заготовки от стомана S355. В зависимост от плана на експеримента се променят параметрите d_1 [mm], d_2 [mm], d_3 [mm] и κ_r [°].

От направения анализ на факторите, посредством които може да се влияе на параметрите на качеството на обработваната повърхнина (виж Глава 2) се оказва, че силите на рязане е необходимо да се измерват в зависимост от главния установъчен ъгъл κ_r [°], дължината на режещия ръб на пластината l [mm], диаметъра на обработвания участък D [mm] и D_1 [mm] (за периферна и централна пластини) и подавателно движение s .

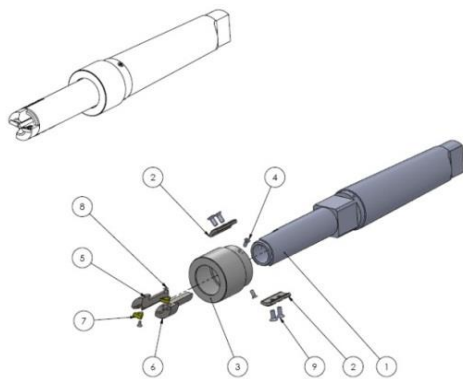


Фиг.3.3 Схема на експериментална установка за измерване на сили на рязане

1 – струг СП586 с ЦПУ; 2 – универсален патронник; 3 – заготовка (виж фиг.3.4); 4 – система за подвеждане на МОТ; 5 – ножодържач; 6,7 – измервателен и записващ прибор WE2108 на фирма НВМ (Германия); 8 – трикомпонентен динамометър (фиг.3.1)

3.2. Проектиране и изработване на динамометричен инструмент

За измерването на радиалната сила, действаща на инструмента при неговото връзване е необходимо да се моделира и изработи динамометричен инструмент, работещ в диапазона $100 \div 1000 \text{ N}$ (фиг.3.5).



Фиг.3.5 Динамометричен инструмент

1 – тяло; 2 – направляваща пластина; 3 – кожух; 4 – винт; 5 – модул за междинна пластина; 6 – модул за периферна пластина; 7 – режеща пластина; 8 – винт; 9 – винт

С помощта на динамометричния инструмент е измерена радиалната сила, възникваща при работата на инструмент с последователно врязване на режещите пластини (F_{r1}) и радиалната сила, възникваща при работата на инструмент с едновременно врязване на режещите пластини (F_{r2}). За измерването на радиалната сила се използва заготовка тип тръба от стомана S355. Използваната металорежеща машина СП586 позволява безстепенно регулиране на честотата на въртене от $50 \div 2500 \text{ min}^{-1}$ и подавания от $0,01 \div 40,9 \text{ mm/rev}$.

3.3. Провеждане на планиран експеримент

За изследване на влиянието на конструктивните и технологични параметри върху силите, действащи на заглаждащите елементи е проведен ротатабелен експеримент от вида 2^4 чрез използване на програмата Explan 1.1.3.0.

Проведените експериментални изследвания са разделени на две групи:

- ✓ Сили на рязане при свредловане;
- ✓ Сили на рязане при разширяване на отвори.

Основните конструктивни и геометрични параметри, влияещи пряко на изменението на силите на рязане и косвено върху силите, действащи на деформиращите и направляващи елементи на инструментите за комбинирано въздействие, са следните:

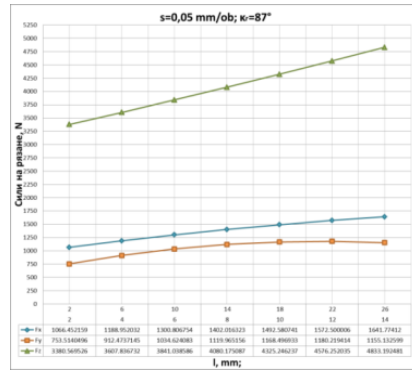
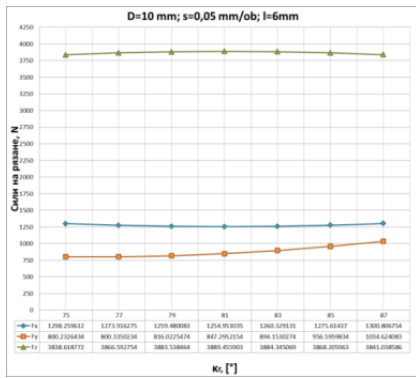
✓ Геометрични и конструктивни параметри – главен установъчен ъгъл κ_r [°], преден ъгъл γ [°], активен режещ ръб l [mm], диаметър, на който работи определена пластина D [mm], положение на режещия ръб спрямо диаметралната равнина на обработвания отвор h [mm];

- ✓ Режими на рязане – скорост на рязане V [m/min], подаване s [mm/rev].

При свредловане режещата главина съдържа или две, или три режещи пластини (виж глава 2), работещи при различни условия на рязане. Работата на централната пластина се отличава с ограничения от гледна точка на параметъра h , който гарантира скорост на рязане различна от „0“ (в центъра на отвора), ниските скорости на рязане в този участък и значителни по стойност съставляващи на силата на рязане. На фиг.3.6 а) и б) са показани резултатите от експерименталните измервания на F_x , F_y и F_z в зависимост от главен установъчен ъгъл κ_r [°] и активен режещ ръб l [mm] за централна режеща пластина. Сравнявайки резултатите получени при измерване на съставляващите, силата на рязане за централна (фиг.3.6) и междинна и периферна пластина (фиг.3.7), могат да се направят следните изводи:

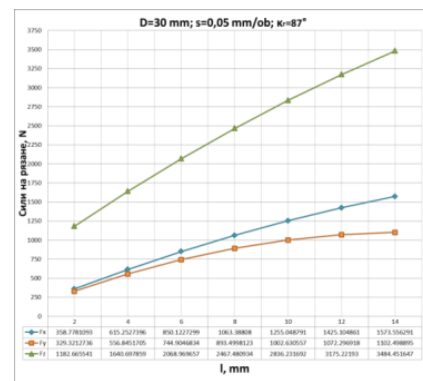
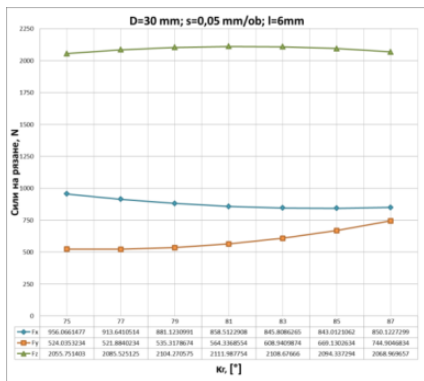
✓ Най-съществена е разликата на съставляващите F_z , като централната пластина е натоварена средно с 1,85 пъти повече от периферната;

✓ Най-съществено влияние върху Fz оказва активната дължина на режещия ръб 1 [mm].



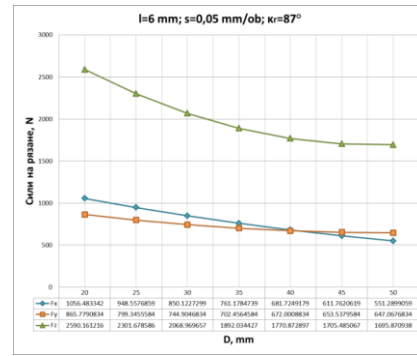
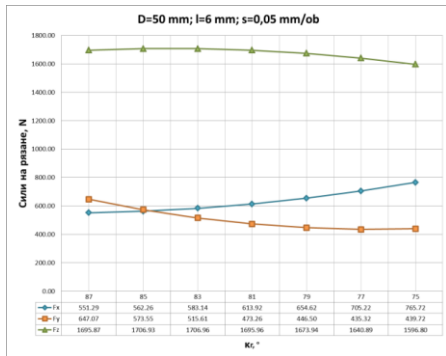
Фиг.3.6 Изменение на съставляващите на силата нарязане

а) Графика за централна пластина в зависимост от установъчния ъгъл κ; б) Графика за централна пластина в зависимост от дължината на режещия ръб l и диаметра D



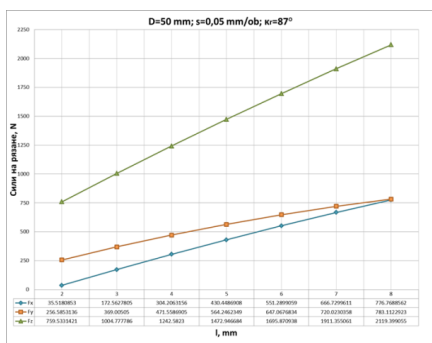
Фиг.3.7 Изменение на съставляващите на силата нарязане

а) Графика за междинна и периферна пластина в зависимост от установъчния ъгъл κ; б) Графика за междинна и периферната пластина в зависимост от дължината на режещия ръб l



а)

б)



в)

Фиг.3.8 Изменение на силите нарязане при разширяване на отвори

а) според установъчния ъгъл κ; б) според диаметра D; в) според дължината на режещия ръб l

За описание на силите на рязане при разширяване на отвори с достатъчна точност могат да се използват регресионните уравнения за F_x , F_y и F_z , отнасящи се за периферна пластина (виж фиг.3.8).

Проведените експериментални изследвания и анализа на конструктивните варианти разгледани в Глава II позволяват параметрите, участващи в изследването да се разделят в две групи (Табл.3.9 и фиг.3.9).

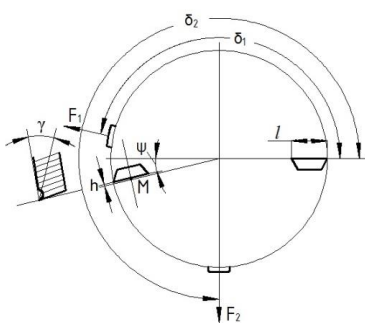
Табл. 3.9 Групи параметри, участващи в експерименталните изследвания

Влияещи параметри	Управлявани параметри
Конструктивни и геометрични параметри - κ_r , γ , ψ , δ_1 , δ_2 , D , h , l	Сили на въздействие и коефициент на устойчивост - F_1 , F_2 , S_1 , S_2
Режими на рязане и други - V , s , инструментален материал, МОТ	Параметри на качеството Ra, точност на размери и форма

3.4. Изводи

От проведените предварителни експериментални изследвания и направените на тяхна база анализи водят до следните изводи:

1. Моделиран и изработен е трикомпонентен динамометър, с които са измерени съставляващите F_x , F_y и F_z на силата на рязане с помощта, на които е направен ротатабелен експеримент от вида 2^4 .



Фиг.3.9 Влияещи параметри на конструкцията на инструмент с комбинирано въздействие

2. Проектиран и моделиран е динамометричен инструмент за измерването на радиалната сила, действаща на инструментите при връзване. Данните от измерването служат за определяне на схемата на връзване на инструмента. В разглеждания случай най-благоприятно е едновременно връзване на режещите пластини, поради: два пъти по-малката радиална сила спрямо последователното връзване и два пъти по-малката дължина на участъка на връзване спрямо последователното връзване.

3. На база анализа на получените от експеримента резултати при измерване на съставляващите, силата на рязане за централна, междинна и периферна пластина (фиг.3.6), могат да се направят следните изводи:

- ✓ Най-съществена е разликата на съставляващите F_z , като централната пластина е натоварена средно с 1,85 пъти повече от периферната;
- ✓ Най-съществено влияние върху F_z оказва активната дължина на режещия ръб l [mm]. С увеличаване четири пъти дължината на режещия ръб, съставляващата на силата на рязане F_z нараства над три пъти.

4. Тъй като влияещите параметри пряко променят силите на рязане на практика се получават две нива на влияние върху параметрите на качеството:

✓ Първото ниво е свързано с влияние върху съставляващите F_x , F_y и F_z на силите на рязане от параметрите κ_r [°], γ [°], h [mm], l [mm] и ъгъл $\psi_{1,2}$ [°], (ако инструмента има повече от една режеща пластина);

✓ Второто ниво е свързано с определяне на оптимални стойности за ъглите δ_1 [°] и δ_2 [°] на разположение на направляващо-деформиращите елементи, които окончателно оформят макро- и микрорелефа на обработваните отвори. От ъглите δ_1 [°] и δ_2 [°] и силите на

рязане пряко зависят силите на въздействие чрез направляващите елементи F_1 и F_2 (които се явяват и сили на пластично деформиране).

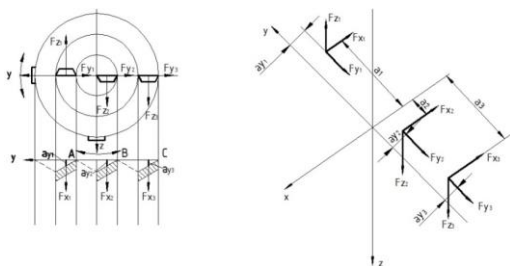
ГЛАВА IV ТЕОРЕТИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В настоящата глава е разгледано провеждането на теоретичните експерименти. Поради големия брой на изследваните комбинации за определяне на рационални конструкции – над 15000 (петнадесет хиляди), са въведени критерии, по които да се отделят вариантите приемливи за създаване на комбинирани инструменти с последователно въздействие.

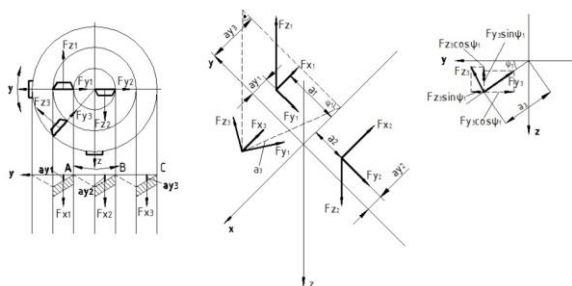
Критериите, по които да се отделят вариантите приемливи за създаване на комбинирани инструменти с последователно въздействие са следните:

- ✓ Приблизително еднакви стойности за силите F_1 и F_2 , осъществяващи деформациите на обработваната повърхнина;
- ✓ Коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 да се по-големи от 1 за осигуряване на надеждно водене и устойчиво поведение на комплекса от пробивен и заглаждащ инструмент.

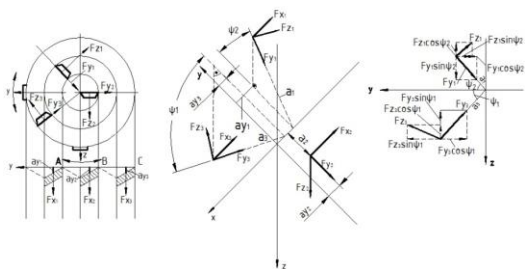
Силите F_1 и F_2 се определят не само според условието да са приблизително еднакви, но и това да имат стойности, които не предизвикват задиране или наклепване на обработваната повърхнина, както и нарушаване на условията за хидродинамично мазане.



Фиг.4.1 Основна конструктивна схема прилагана при свредла за обработка на дълбоки отвори $\psi_{1,2}=0^\circ$



Фиг.4.2 Конструктивен вариант при $\psi_1 \neq 0^\circ$



Фиг.4.3 Конструктивен вариант с изместване на междинна и периферна пластини по ъгъл $\psi_{1,2} \neq 0^\circ$

След предварително отсяване на конструктивните варианти и за намаляване на броя изследвания на анализ са подложени три характерни случая:

✓ Разположение на режещите ръбове в една равнина $\psi_1 = \psi_2 = 0^\circ$ и еднакви стойности за ъглите κ_r [°] и дължините на режещия ръб l [mm] (фиг.4.1).

✓ Разположение на централната и междинна пластини в една равнина и промяна на положението на периферната пластина по ъгъл $\psi_1 \neq 0^\circ$ (фиг.4.2);

✓ Конструктивен вариант с едновременно изменение на положението на междинната и периферна пластина - $\psi_{1,2} \neq 0^\circ$ (фиг.4.3).

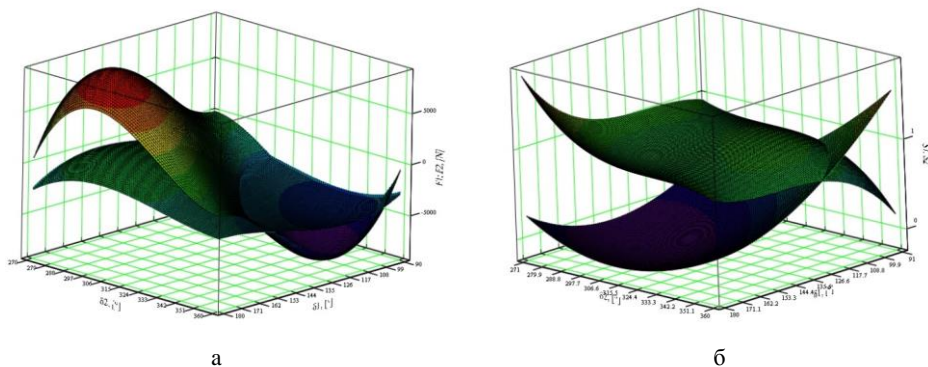
За всички конструктивни варианти се изследва изменението на силите F_1 и F_2 , действащи в направляващите и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 спрямо всяка от направляващите.

На фиг.4.4 са показани зависимостите F_1 и F_2 и S_1 и S_2 във функция от ъглите δ_1 и δ_2 за конструктивен вариант показан на фиг.4.1.

Линиите на пресичане на посочените графики показват стойностите за ъглите δ_1 и δ_2 , при които силите F_1 и F_2 са еднакви. Този факт не

е достатъчен да се създаде работоспособна конструкция. Необходимо е коефициентите на устойчивост спрямо всяка една от направляващите S_1 и S_2 да са по-големи от 1.

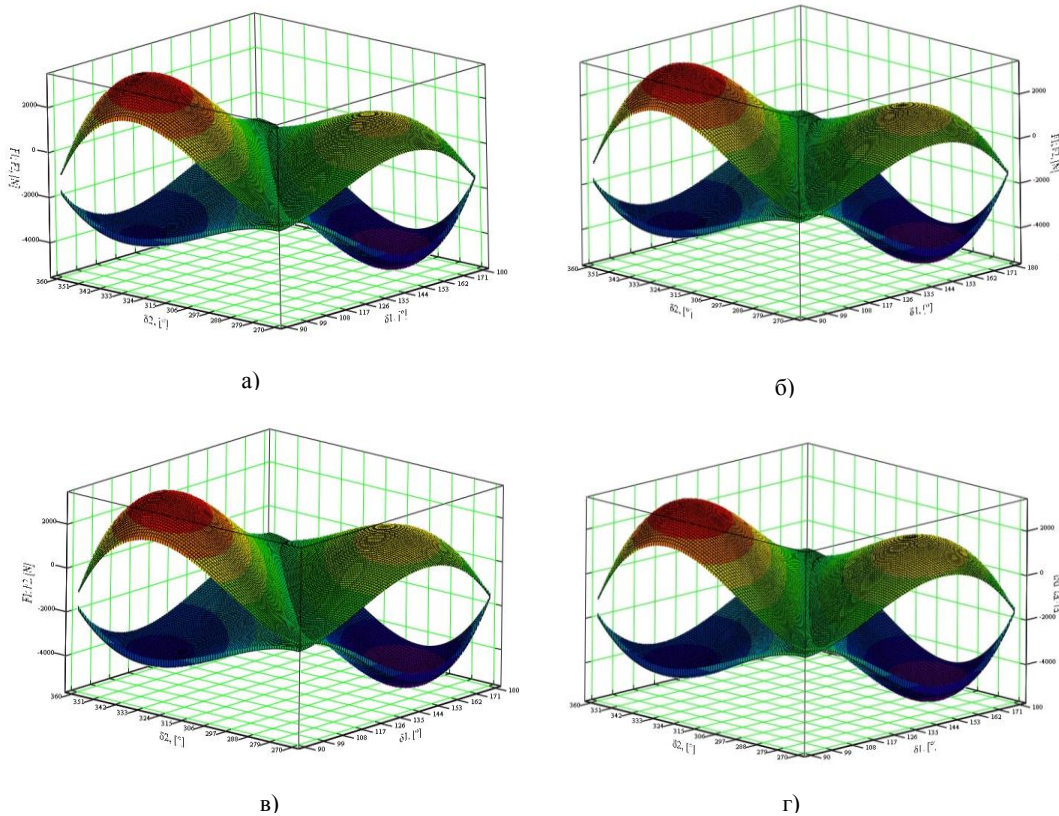
В таблици дадени в дисертационния труд са дадени стойностите на пресичане на повърхнините, описващи изменението на силите F_1 и F_2 и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 .



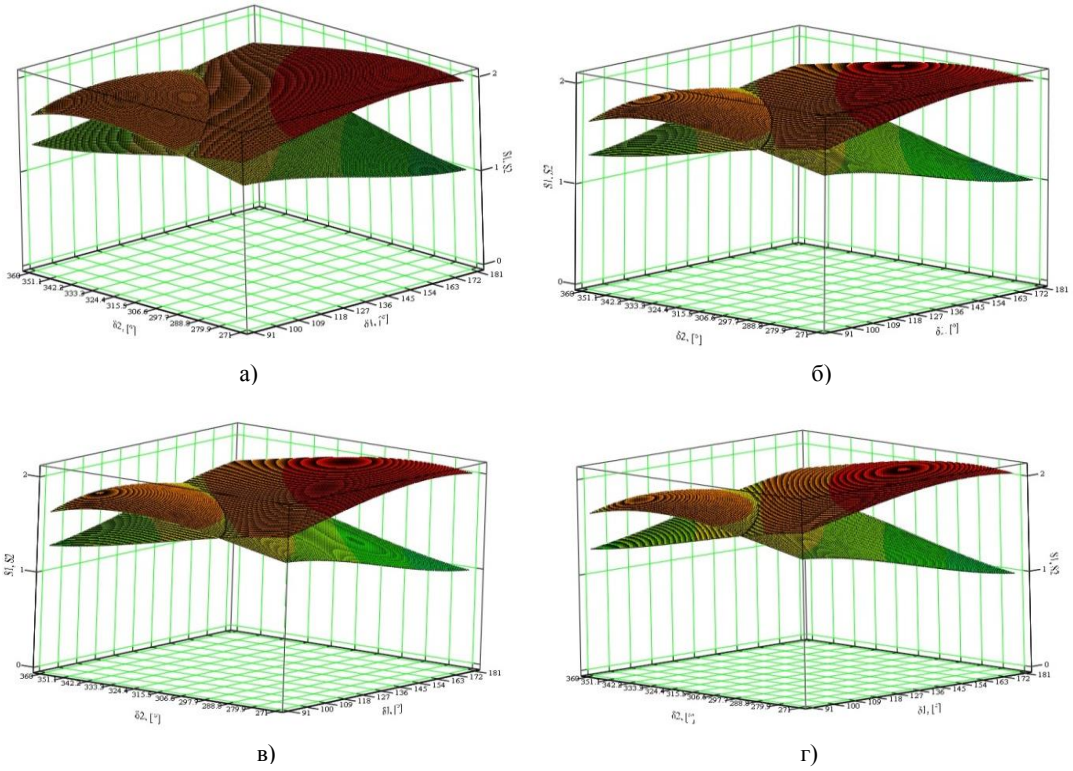
Фиг.4.4 Изменение на силите F_1 и F_2 в направляващите (а) и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 (б) в зависимост от ъглите δ_1 и δ_2 .

След анализ на получените стойности и графичните зависимости става ясно, че изследваните конструктивни варианти са нерационални от гледна точка на посоката на силите F_1 и F_2 и отсъствие на коефициенти S_1 и S_2 по-големи от 1.

Графичните зависимости за изменение на F_1 и F_2 при стойности на ъгъл $\psi_1 = -6^\circ \div -12^\circ$ (Вариант 5 - фиг.4.2) са показани на фиг.4.5

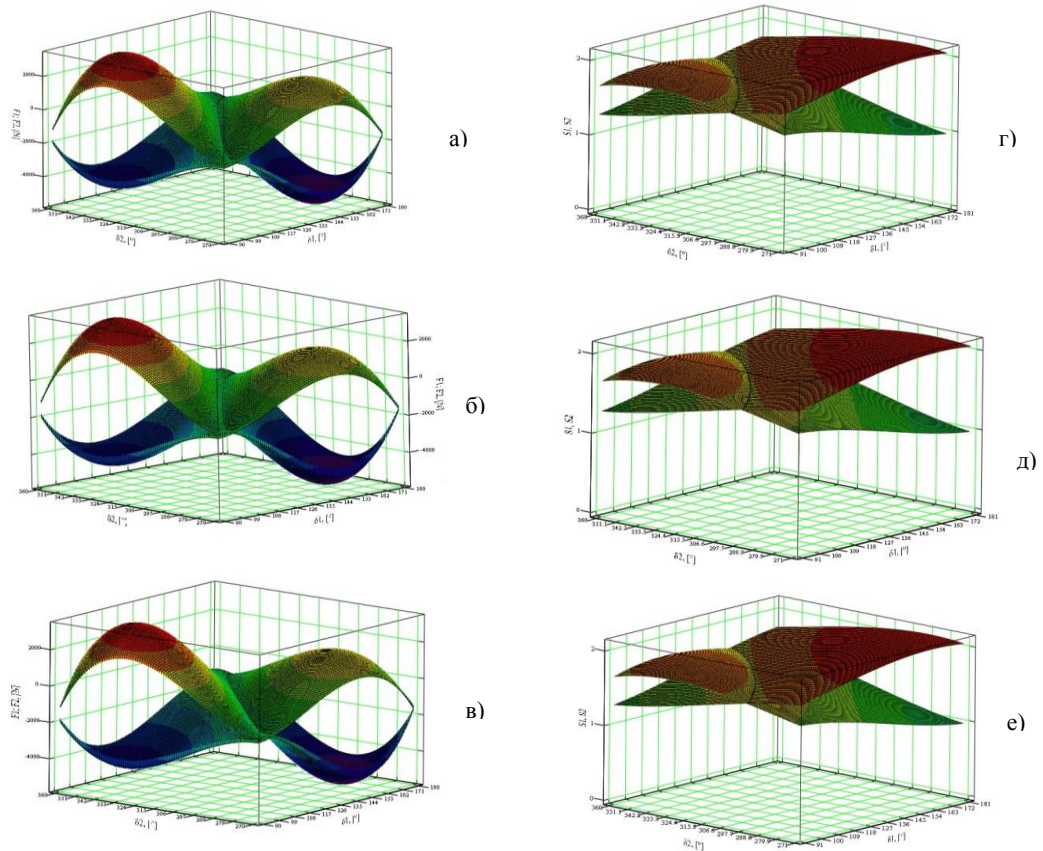


Фиг.4.5 Изменение на силите, действащи в направляващите за вариант 5 (фиг.4.2) в зависимост от параметъра ψ
 а) при $\psi_1 = -6^\circ$; б) $\psi_1 = -8^\circ$; в) $\psi_1 = -10^\circ$; г) $\psi_1 = -12^\circ$



Фиг.4.6 Изменение на коефициентите на устойчивост в зависимост от ъгъл ψ и ъглите δ_1 и δ_2 (за конструктивен вариант 5)

а) при $\psi_1 = -6^\circ$; б) $\psi_1 = -8^\circ$; в) $\psi_1 = -10^\circ$; г) $\psi_1 = -12^\circ$



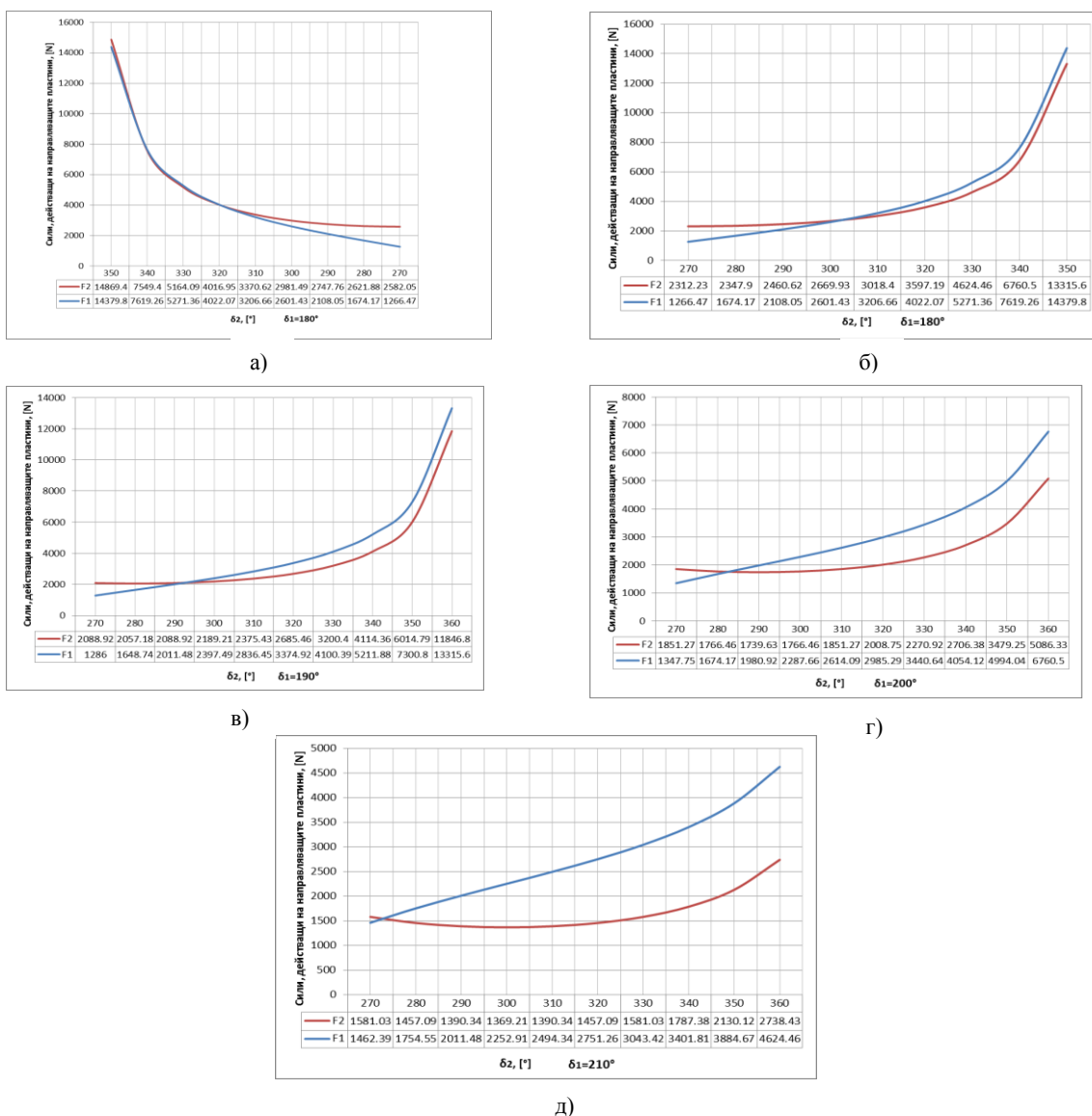
Фиг.4.7 Изменение на силите F_1 и F_2 и коефициентите на устойчивост в зависимост от параметрите ψ_1 и ψ_2

а) F_1 и F_2 при $\psi_1 = -2^\circ$ и $\psi_2 = 10^\circ$; б) F_1 и F_2 при $\psi_1 = -4^\circ$ и $\psi_2 = 8^\circ$; в) F_1 и F_2 при $\psi_1 = -6^\circ$ и $\psi_2 = 6^\circ$
 г) S_1 и S_2 при $\psi_1 = -2^\circ$ и $\psi_2 = 10^\circ$; д) S_1 и S_2 при $\psi_1 = -4^\circ$ и $\psi_2 = 8^\circ$; е) S_1 и S_2 при $\psi_1 = -6^\circ$ и $\psi_2 = 6^\circ$

Анализирайки получените резултати за коефициентите на устойчивост, получени при същите случаи (фиг.4.6), става ясно, че е възможно да бъдат създадени конструкции с подобно разположение на режещите пластини и направляващи (заглаждащи елементи), тъй като е изпълнено условието $F_1 \approx F_2$ и $S_1 > 1$ и $S_2 > 1$.

Стойностите на пресичане на повърхнините, описващи изменението на силите F_1 и F_2 и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 са дадени в таблици в дисертацията.

В случаите, които се променят едновременно ъглите ψ_1 и ψ_2 (фиг.4.3 – вариант 9) броя на конструктивните варианти, отговарящи на условията за работоспособност се увеличават значително. На анализ са подложени конструктивни варианти, при които $\psi_1 = -1^\circ \div -11^\circ$ и $\psi_2 = 1^\circ \div 11^\circ$. На фиг.4.7 са показани част от вариантите изградени при различни комбинации за ъглите ψ_1 и ψ_2 и тяхното влияние върху силите F_1 и F_2 и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 .



Фиг.4.8 Изменение на силите в опорно-заглаждащите елементи при разширяване на отвор с диаметър $D=40$ mm, $V=120$ m/min, $s=0,1$ mm/rev, снемана прибавка 12 mm по диаметър
 а) при опорно-заглаждащите елементи в 2 и 4 квадрант и $\delta_1=180^\circ$; б) при опорно-заглаждащите елементи в 3 и 4 квадрант и $\delta_1=180^\circ$; в) при опорно-заглаждащите елементи в 3 и 4 квадрант и $\delta_1=190^\circ$; г) при опорно-заглаждащите елементи в 3 и 4 квадрант и $\delta_1=200^\circ$; д) при опорно-заглаждащите елементи в 3 и 4 квадрант и $\delta_1=210^\circ$

При едновременното изменение на параметрите ψ_1 и ψ_2 се наблюдават следните особености:

- ✓ Увеличават се възможните конструктивни варианти, отговарящи на критериите $F_1 \approx F_2$ и $S_1 > 1$ и $S_2 > 1$;
- ✓ Регистрира се намаляване на стойностите за F_1 и F_2 , както при минималните им стойности, така и при максималните;
- ✓ Потвърждава се същественото влияние на ъглите ψ_1 и ψ_2 и δ_1 и δ_2 , като възможни за управление параметри, влияещи пряко върху показателите на качеството на обработваните повърхнини.

Минималните стойности за F_1 и F_2 могат да се определят само по експериментален път, като този въпрос е разгледан в глава 5.

При изработване на хидравлични цилиндри най-често се прилага операцията разширяване на отвора и едновременно заглаждане.

При разширяване на отвори освен изброените до настоящия момент фактори, влияещи върху параметрите на качеството, се явява още една възможност за влияние посредством схемата на изрязване на прибавката.

Изпълнимите от конструктивна гледна точка схеми са разгледани в глава 2, като на силов анализ са подложени определени варианти.

Най-опростеният вариант е при използване на една режеща пластина. Стойностите за F_1 и F_2 са значителни (приблизително 4000 N), но коефициентите на устойчивост спрямо едната от направляващите са отрицателни. Посочените резултати са получени при максимална за инструмента снемана прибавка от 12 mm (по диаметър).

При наличие на две пластини най-често се прилага схема на деление на ширина на срязвания слой метал (вариант 5 – табл.2.4). При разположение на режещите пластини на диаметралната равнина и срещуположно направление на компонентите F_{y1} и F_{y2} се получават благоприятни стойности за коефициентите на устойчивост, но силите F_1 и F_2 имат отрицателен знак.

Анализираните графичните зависимости за варианта с една режеща пластина (при разстъргване) са показани на фиг.4.8 в Глава IV на дисертационния труд.

4.3. Изводи

От анализът на получените резултати и графични зависимости са обобщени следните изводи:

1. След теоретичното изчисляване на изменението на силите F_1 и F_2 , действащи в направляващите и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 спрямо всяка от направляващите за основната конструктивна схема прилагана при свредловане на отвори с комбинирания инструмент ($\psi_{1,2}=0^\circ$) се получава, че изследваните конструктивни варианти са нерационални от гледна точка на посоката на силите F_1 и F_2 и коефициенти на устойчивост S_1 и S_2 по-малки от 1.

2. При Вариант 5, при който се изменя само ψ_1 в границите от -5° до -20° при едни и същи условия на рязане и конструктивни параметри на режещата част за свредловане, от графичните зависимости за изменение на F_1 и F_2 и S_1 и S_2 става ясно, че е възможно да бъдат създадени конструкции с подобно разположение на режещите пластини и направляващи (заглаждащи елементи), тъй като е изпълнено условието $F_1 \approx F_2$ и $S_1 > 1$ и $S_2 > 1$.

3. Сравнявайки получените резултати се вижда, че промяната на параметъра ψ води до съществена промяна на силите F_1 и F_2 , като максималните стойности от 1226,5 N се

изменят до 1682 N само в границите за ъгъл $\psi_1 = -6^\circ \div -10^\circ$. При стойности за $\psi_1 > -12^\circ$ силите F_1 и F_2 променят своята посока и получаваните конструктивни варианти не са приложими.

4. В случаите, в които се променят едновременно ъглите ψ_1 и ψ_2 (вариант 9) броя на конструктивните варианти, отговарящи на условията за работоспособност се увеличават значително. На анализ са подложени конструктивни варианти, при които $\psi_1 = -1^\circ \div -11^\circ$ и $\psi_2 = 1^\circ \div 11^\circ$. При едновременното изменение на параметрите ψ_1 и ψ_2 се наблюдават следните особености:

- ✓ Увеличават се възможните конструктивни варианти, отговарящи на критериите $F_1 \approx F_2$ и $S_1 > 1$ и $S_2 > 1$;

- ✓ Регистрира се намаляване на стойностите за F_1 и F_2 , както при минималните им стойности, така и при максималните.

- ✓ Потвърждава се същественото влияние на ъглите ψ_1 и ψ_2 и δ_1 и δ_2 , като параметри, влияещи пряко върху показателите на качеството на обработваните повърхнини.

5. Най-опростеният вариант спрямо всички останали при разстъргване е с използване на една режеща пластина. Стойностите за F_1 и F_2 са значителни (приблизително 4000 N), а коефициентите на устойчивост спрямо едната от направляващите са отрицателни, при това положение инструмента не се води правилно в обработвания отвор (направляващите се отделят от заглажданата повърхнина и се появява стремеж инструмента да се завърти спрямо една от тях). Посочените резултати са получени при максимална за инструмента снемана прибавка от 12 mm (по диаметър).

6. При наличие на две пластини при разстъргване се прилага схема на деление на ширина на срязвания слой метал. При разположение на режещите пластини на диаметралната равнина и срещуположно направление на компонентите F_{y1} и F_{y2} се получават благоприятни стойности за коефициентите на устойчивост, но силите F_1 и F_2 имат отрицателен знак.

7. При промяна на ъгъл ψ (вариант 6 – при разстъргване табл.2.4) в диапазона от стойности $10^\circ \div 20^\circ$ се получават благоприятни варианти, при които силите F_1 и F_2 са равни, а коефициентите S_1 и S_2 са по-големи от единица.

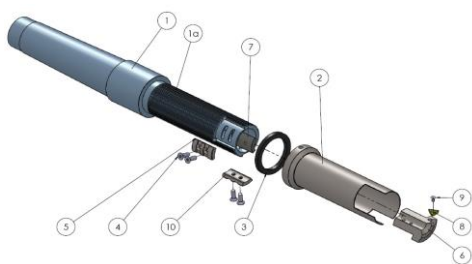
ГЛАВА V МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В настоящата глава с разработена методика за изследването на параметрите на качеството посредством комбиниран инструмент с последователно въздействие. За анализ на влиянието на комбинираната обработка върху обработваната повърхнина са разработени методики за изследване чрез микроструктурен анализ и измерване на микротвърдостта, както и за провеждане на планиран експеримент.

За да се гарантира достоверността на получаваните стойности на измерваните величини, е необходимо да се използват съвременни, прецизни и с висока точност в измерванията средства. Използваните за измерванията машини и техните технически параметри са подробно описани в тази глава.

5.1. Методика за изследване на влиянието на конструктивните параметри и режимите на обработка посредством комбиниран инструмент с последователно въздействие (разширяване на отвора и следващо заглаждане)

За бъдат осъществени експерименталните изследвания първо трябва да се моделира и конструира инструмента с последователно въздействие на база предварителните експериментални и теоретични изследвания (фиг.5.1).



Фиг.5.1 Общ вид на инструмента в разглобен вид

На фигури 5.1 е показан общ вид на инструмента на база, на който са разработени инструментите за комбинирана обработка показани на фиг.5.3.

Конструкцията на инструмента се състои от тяло (1), осигуряващо якостно инструмента и завършващо с различна по форма опашка, тънкостенен детайл (2), покриващ надлъжните канали (1а) за подвеждане на МОТ, челно уплътнение (3), режещ модул (6), носещ твърдосплавната режеща пластина (8) с триъгълна форма и винт за закрепване (9). Опорно - заглаждащите елементи – неподвижен (10) и подвижен (5) се закрепват с винтове (4) и контратяло (7). Ролята на контратялото за неподвижната опора (10) играе режещ модул (6).

В тази глава подробно е описан методът за проектиране на инструмента и е разработена конструктивната документация към него.



а)



б)



в)



г)

Фиг.5.3 Инструменти за комбинирана обработка

а, б, в – видове инструменти за комбинирана обработка; г – инструмент – динамометър за комбинирана обработка

По тази документация са изработени четири инструмента за последователно въздействие (фиг.5.3).

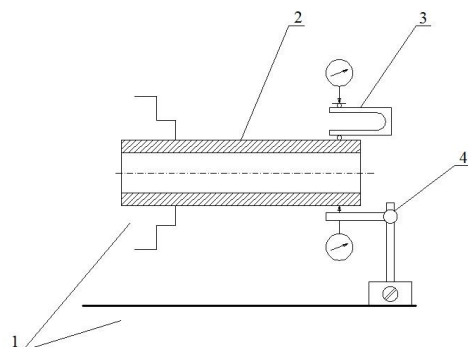


Фиг.5.4. Динамометрична скоба с инструмент за комбинирана обработка

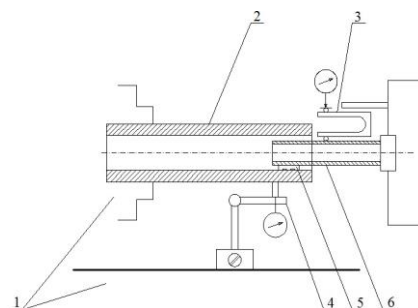
За осъществяване на различни схеми на натоварване в направляващите се използва динамометрична скоба с известни характеристика и еластични свойства на тялото на инструмента и детайла (фиг.5.4).

Опитната установка за обработка на повърхнини се използва, за да се определи въздействието на инструмента върху изследвания образец. За тази цел се измерват деформациите в цилиндри (опитни образци) с определени диаметри, дебелини на стените и дължини до захванатата в патронника част.

Натоварването се извършва с динамометрична скоба, а деформациите се измерват с индикаторен часовник с точност до 1 μm . Схемата за тариране на установката е показана на фиг.5.5. За всеки отделен случай се получава еластичната характеристика, която се използва при натоварването на цялата технологична система. На фиг.5.6 е показано схематично установката за провеждане на експерименталните изследвания.

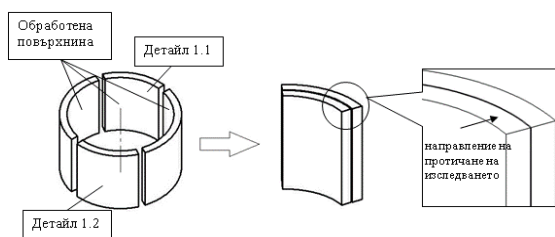


Фиг.5.5 Схема на тариране на установката
1 – машина СП586; 2 – детайл; 3 – динамометрична скоба; 4 – индикаторен часовник с магнитна стойка



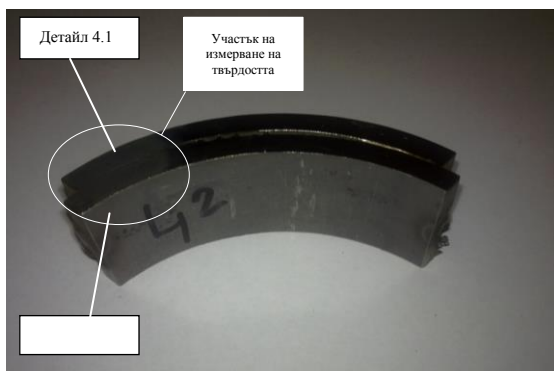
Фиг.5.6 Схема на натоварване на детайл чрез реален инструмент
1 – машина СП586; 2 – детайл; 3 – динамометрична скоба; 4 – индикаторен часовник с магнитна стойка; 5 – опорно-заглаждащ елемент; 6 – инструмент

5.2. Методика за изследване чрез микроструктурен анализ и измерване на микротвърдостта



Фиг.5.7 Схема на изследвания образец

На комбинирана обработка са подложени цилиндрични образци от стомана S355 с обработен вътрешен диаметър $D=40\text{ mm}$ и $D=100\text{ mm}$. Обработката на образците се извършва на металорежеща машина СП586, която позволява безстепенно регулиране на честотата на въртене от $50\div 2500\text{ min}^{-1}$ и подавания от $0,01\div 40,9\text{ mm/rev}$. Режимите на рязане, с които се извършва обработката са подаване $s=0,1\text{ mm/rev}$ за всички обработвани детайли и скорост на рязане $V=120\text{ m/min}$ за детайлите с вътрешен диаметър $D=40\text{ mm}$ и скорост на рязане $V=150\text{ m/min}$ за детайлите с вътрешен диаметър $D=100\text{ mm}$. Усилието, с което се притискат деформиращи елементи по вътрешната обработвана повърхнина е $F_1=F_2=2000\text{ N}$ за детайли с вътрешен диаметър $D=40\text{ mm}$ и $F_1\approx F_2=2500\text{ N}$ за детайли с вътрешен диаметър $D=100\text{ mm}$. Деформиращото въздействие се извършва от призматични тела с размери $30\times 15\text{ mm}$, като силата на въздействие е осъществена чрез динамометрична скоба. При комбинираното обработване се използва охлаждаща течност – машинно масло на синтетична основа.



Фиг.5.8 Снимка на изследван образец

От обработените образци се отрязват два дъговидни участъка, намиращи се приблизително един срещу друг, както е показано на фиг.5.7. Двата дъговидни участъка се прикрепват един към друг (фиг.5.7), след което се обработват с цел получаване на металографски шлифове, необходими за изследването на микротвърдост. На фиг.5.8 е показан един от изследваните металографски шлифове.

Микроструктурите са заснети чрез оптичен микроскоп NEOPHOT 32 при използване на приставка Hanneman за измерване на микротвърдостите по метода на Викерс (HV) с натоварване от 30g.

5.3. Методика за извеждане на регресионни уравнения

За извеждането на регресионни уравнения се използва програмния продукт Explain 1.1.3.0 за планирани ротатабелни експерименти. В разглеждания случай се провежда планиран експеримент от вида 2^2 , при който $Ra=f(V, s)$.

За генерирането на регресионните уравнения първоначално се задават двата фактора $V[m/min]$ и $s[mm/rev]$, след което се въвежда оптимизационния параметър $Ra [\mu m]$.

Планираният експеримент се провежда за измерена грапавост преди обработка и след обработка.

5.4. Използвани измервателни уреди

За да се гарантира достоверността на получаваните стойности на измерваните величини, е необходимо да се използват съвременни, прецизни и с висока точност в измерванията машини. Основните параметри, които се контролират след обработка са грапавостта Ra , отклонението от кръглост и отклонението от цилиндричност. За измерването на тези параметри се използват две измервателни машини: портативен профиломер Mitutoyo SurfTest SJ-301 измерващ грапавостта съгласно БДС 12341:1974 „Метрология. Уреди за измерване грапавостта на повърхнините по профилния метод. Контактни уреди за непрекъснато преобразуване на профила.” и трикоординатна измервателна машина TESA MICRO NITE 3D FI измерваща отклонението от формата и размера съгласно БДС EN ISO 10360-2:2010 „Изисквания към геометрията на продукти (GPS). Изпитвания за приемане и за повторна проверка на координатни измервателни машини (КИМ). Част 2: КИМ за измерване на линейни размери”.

5.5. Изводи

В следствие на така разработените методики са изведени следните изводи:

1. Разработен е модел на комбинирания инструмент на база, на които са разработени четири варианта на инструменти за последователно въздействие. Те осигуряват възможността да се изпълнят експерименталните изследвания и да се проверят резултатите получени при теоретичното изследване.

2. Разработена е опитната установка, която дава възможност да се определи въздействието на инструмента върху изследвания образец. След експериментите със споменатата установка се прави съпоставка между деформациите в детайла и силите, предавани посредством динамометрична скоба. Това сравнение показва, че могат да се задават различни по стойност сили в направляващо-заглаждащите елементи, което предизвиква различна деформация в образците.

3. За настоящия случай е разработена методика за микроструктурен анализ за изследване на деформационните процеси и измененията в структурата и микротвърдостта на опитните образци след обработката при експерименталните изследвания.

4. За обработването на получените експериментални данни е използван програмния продукт Explain 1.1.3.0, който дава възможност и същевременно улеснява получаването на регресионни уравнения. Те дават възможност да се проследи как влияе изменението на

факторите V [m/min] и s [mm/rev] върху оптимизационния параметър Ra [μm]. Това осигурява допълнителна информация за протичането на технологичния процес.

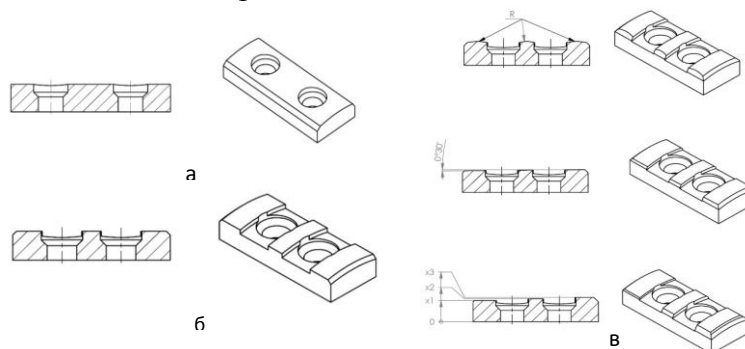
5. Избраните измервателни средства – профиломер Mitutoyo SurfTest SJ-301 и трикоординатната измервателна машина TESA MICRO HITE 3D FI са съвременни, прецизни в измерванията и с висока точност. Това гарантира достоверността на получаваните стойности на измерваните величини.

ГЛАВА VI РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В настоящата глава са разгледани резултатите от проведените експериментални изследвания

6.1. Насочващи експерименти за определяне на формата и размерите на направляващите и заглаждащи елементи

Формата на направляващите елементи играе съществена роля върху показателите на качеството на обработваните отвори. На фиг.6.2 са показани форми на режещите пластини, с които са извършени насочващите експерименти.

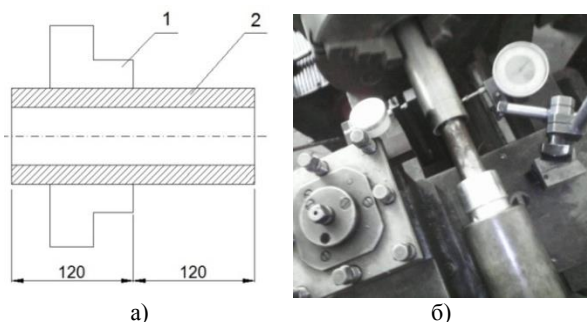


Фиг.6.2 Направляващи елементи на изследваните конструкции инструменти
a – гладък направляващ елемент; *б* – прекъснат направляващ елемент;
в – разновидности на прекъснат направляващ елемент (вариант б)

Първоначалните проверки показват, че последните две форми имат следните недостатъци:

- ✓ Склонност към задиране и наклепване на обработваната повърхнина (при радиусната форма);
- ✓ Снемане на тънки слоеве метал при стъпаловидната форма наподобяващи „Шевинговане“, при което отсъства пластично деформиране и те не са използвани в следващите експерименти.

Възникващите напрежения и деформации са в обработван детайл със следните размери: вътрешен диаметър $d=40$ mm; външен диаметър $D=50$ mm; обща дължина $L=240$ mm. Схемата на закрепване със свободна част от 120 mm и схема на измерване са дадени на фиг.6.3 а и б.



Фиг.6.3 Закрепване на изследваните образци
a – схема на закрепване (1 – патронник; 2 – детайл); *б* – схема на измерване

Моделирането и изследването на деформациите и напреженията е извършено с помощта на програмния продукт SolidWorks.

Физикомеханичните качества на обработвания материал са за стомана S355, от която се произвеждат хидравлични цилиндри и с която са проведени всички експериментални изследвания. Сравнителните резултати от теоретичните и експериментални изследвания са приведени в таблица 6.6.

Таблица 6.6 Напрежения и деформации на детайлите при обработване с гладка и прекъснатата направляваща пластина

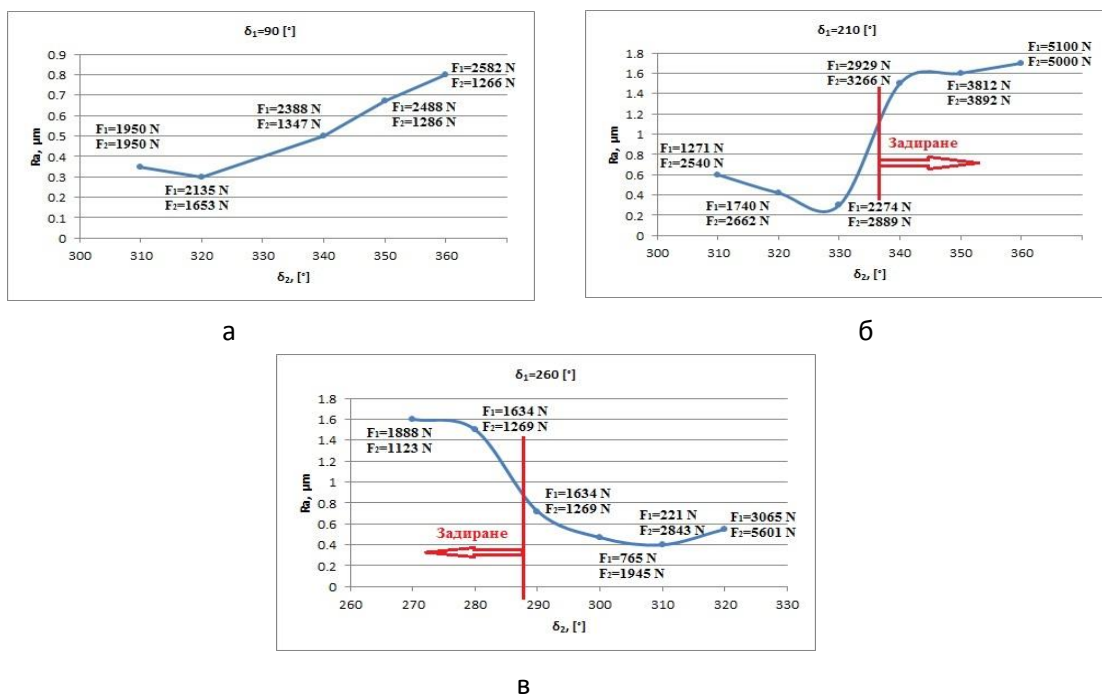
Вариант №	δ_1 , [°]	δ_2 , [°]	F_1 , [N]	F_2 , [N]	Максимално напрежение, [MPa]	Максимална деформация, [mm]	Измерени деформации, [mm]
Свредловане с гладка пластина при $\psi=0^\circ$	120	320	-11581	-4488	106,4	0,0007	-
	130	320	-8840	-23520	199,6	0,0016	-
	140	310	4904	23515	274,8	0,0022	-
	150	300	285	7917	125,3	0,001	-
	160	290	-755	4847	93,2	0,0007	-
Свредловане с прекъснатата пластина при $\psi=0^\circ$	120	320	-11581	-4488	476	0,0021	-
	130	320	-8840	-23520	772,4	0,0047	-
	140	310	4904	23515	812,2	0,0063	-
	150	300	285	7917	369,5	0,0029	-
	160	290	-755	4847	274	0,0022	-
Свредловане с гладка пластина при $\psi=-20^\circ$	125	330	3176	-4867	60,1	0,00026	0,00032
	110	340	1099	-3365	55,3	0,0003	0,00032
	120	330	2685	-4497	58,2	0,00027	0,00030
	130	320	10378	-10656	85,4	0,00027	-
	150	300	-5089	-1800	72,9	0,00031	-
Свредловане с прекъснатата пластина при $\psi=-20^\circ$	125	330	3176	-4867	256,6	0,00074	0,00082
	110	340	1099	-3365	220,3	0,00087	0,0012
	120	330	2685	-4497	238,3	0,00078	0,0012
	130	320	10378	-10656	350,1	0,00077	0,0010
	150	300	-5089	-1800	303,4	0,00089	0,00090
Свредловане с гладка пластина при $\psi_1=6^\circ$ и $\psi_2=-6^\circ$	130	330	4217	4670	58	0,00024	0,00030
	110	340	1280	3047	53,5	0,00031	0,00035
	120	330	2885	3992	55,6	0,00027	0,00032
	130	320	10710	9198	79,1	0,00034	-
	150	300	5029	1336	73,2	0,00032	-
Свредловане с прекъснатата пластина при $\psi_1=6^\circ$ и $\psi_2=-6^\circ$	130	330	4217	4670	230	0,00071	-
	110	340	1280	3047	214,6	0,00091	0,00090
	120	330	2885	3992	223,2	0,00079	0,0015
	130	320	10710	9198	340	0,00099	-
	150	300	5029	1336	304,1	0,00093	-
Разстъргване с гладка пластина	140	275	2069	2313	101,6	0,0011	0,00098
	130	275	2551	2183	93,4	0,001	0,0018
	150	275	1786	2405	116,2	0,0013	0,0017

Вариант №	δ_1 , [°]	δ_2 , [°]	F_1 , [N]	F_2 , [N]	Максимално напрежение, [MPa]	Максимална деформация, [mm]	Измерени деформации, [mm]
	160	275	1614	2476	134,1	0,0014	0,0020
	170	275	1514	2537	150,4	0,0016	0,0025
Разстъргване с прекъсната пластина	140	275	2069	2313	302,8	0,0033	0,0028
	130	275	2551	2183	283,5	0,003	0,0038
	150	275	1786	2405	353,5	0,0038	0,0040
	160	275	1614	2476	398,5	0,0043	0,0050
	170	275	1514	2537	449	0,0048	0,0058

Определена част от получените по теоретичен път резултати в табл.6.6 не могат да бъдат проверени поради това, че опитната установка позволява прилагане на сили F_1 и F_2 от порядъка на 4000 N

6.2. Влияние на силите, действащи в направляващите пластини върху грапавостта на обработваната повърхнина

За определяне на влиянието на силите в направляващите върху грапавостта на обработваните отвори са проведени експерименти при стойности на ъглите δ_1 и δ_2 показани на фиг.6.5 а), б), и в).



Фиг.6.5 Определяне зоните въздействие при различни стойности на ъглите δ_1 и δ_2 и силите F_1 и F_2 чрез получаваната грапавост Ra

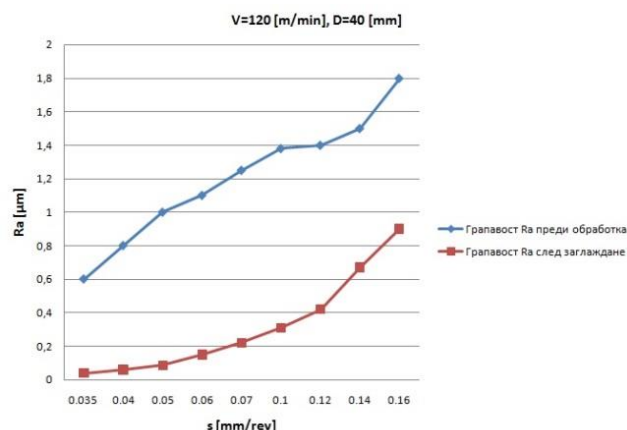
Оказва се, че при сили F_1 и F_2 по-големи от 3000 N процесът е неустойчив и не удовлетворява изискванията за качество на обработваната повърхнина. Същите резултати се получават и при разлики между F_1 и F_2 по-големи от 1,5 пъти.

Получените резултати за грапавост Ra на фиг.6.5 се получават при коефициенти на устойчивост $S_1 > 1$ и $S_2 > 1$, което позволява да се направи следния извод: не е достатъчно силите $F_1 \approx F_2 < 2500$ N, но и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 да са по-големи от 1.

Най-сложно е определянето на влиянието на грапавостта преди заглаждането на обработваната повърхнина, предвид близкото разположение на периферния режещ ръб и началото на опорите.

За измерване в този случай се използва измервателна дължина от 2,5 mm на използвания портативен профиломер Mitutoyo Surftest SJ-301.

Получените резултати от измерванията са показани на фиг.6.6.



Фиг.6.6 Влияние на грапавостта на обработаната повърхнина преди и след заглаждане в зависимост от подаването при сили $F_1 \approx F_2 = 2500$ N (обработван материал стомана S355)

По-лесно е моделирането на процесът, при което образци се обработват чрез разстъргване (фиг.6.7 а), а в последствие се заглаждат (фиг.6.7 б) с прилагане на усилия F_1 и F_2 със стойности определени от съображенията посочени по-горе в Глава VI.



Фиг.6.7 Състояние на детайла при разделяне на вида на обработката
а – след разстъргване; б- след заглаждане

6.3. Резултати от изследване на грапавостта и точността на обработваните повърхнини в зависимост от режимите на обработка

След провеждане на предварителните експерименти е установен диапазона за изменение на ъглите δ_1 и δ_2 при рационални стойности на силите F_1 и F_2 (до 2500 N) и коефициенти на устойчивост $S_1 > 1$ и $S_2 > 1$.

Обработени са 100 образци и са подбрани детайли с диаметър $\varnothing 40$ mm, $\varnothing 75$ mm и $\varnothing 100$ mm от номенклатурата на фирма SI PRO Ltd.

6.3.1. Таблицы с планирания експеримент, регресионни уравнения и графики

Проведен е планиран експеримент на база, на който са изведени регресионни уравнения. Те са използвани за построяване на графична зависимост от данните получени в началото или края на образеца между грапавостта R_a и режимните параметри V [m/min] и s [mm/rev] и според обработвания диаметър и приложеното усилие.

6.3.2. Резултати от измерване на грапавост и получаване на профилограми за обработените повърхнини

Грапавост е измерена на общо 100 /сто/ опитни образеца с обработвани вътрешни диаметри $D=40$ mm, $D=75$ mm и $D=100$ mm (фиг.6.14). Измерванията са правени в началото и



Фиг.6.14 Опитни образци

в края на обработваната повърхнина. От направените измервания се вижда, че грапавостта в зависимост от размера на вътрешния диаметър варира в следните граници:

✓ При обработка на вътрешен диаметър $D=40$ mm грапавостта в началото на образеца е $Ra=0,03\div0,33$ μm , а в края $Ra=0,06\div0,43$ μm . В този случай грапавостта в началото и в края на образеца се променя три пъти;

✓ При обработка на вътрешен диаметър $D=75$ mm грапавостта в началото на образеца е $Ra=0,12\div0,20$ μm , а в края

$Ra=0,07\div0,18$ μm . В този случай грапавостта намалява с малки стойности в посока от началото към края на образеца;

✓ При обработка на вътрешен диаметър $D=100$ mm грапавостта в началото на образеца е $Ra=0,12\div0,20$ μm , а в края $Ra=0,07\div0,18$ μm . В този случай грапавостта се увеличава минимално в посока от началото към края на образеца.

6.3.3. Резултати от измерване на отклонение от размер, кръглост и цилиндричност

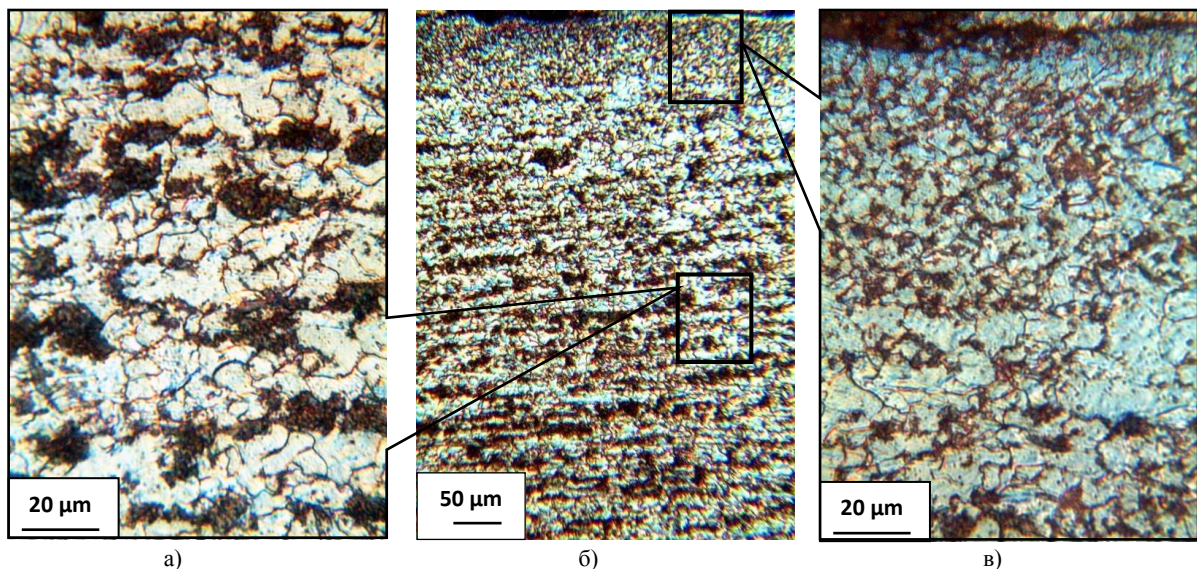
Анализът на резултатите показва, че отклоненията от размер, кръглост и цилиндричност са малки по стойност и покриват изискванията, поставяни към такъв тип детайли (хидравлични елементи).

6.3.4. Резултати от микроструктурен анализ на обработените повърхнини

Избрани са осем детайла с най-благоприятни стойности на грапавостта на микроструктурен анализ са подложени образците с вътрешни диаметри $D=40$ mm $D=100$ mm.

Микроструктурите са заснети чрез оптичен микроскоп НЕОРНОТ 32 при използване на приставка Нанпепан за измерване на микротвърдостите по метода на Викерс (HV) с натоварване от 30g.

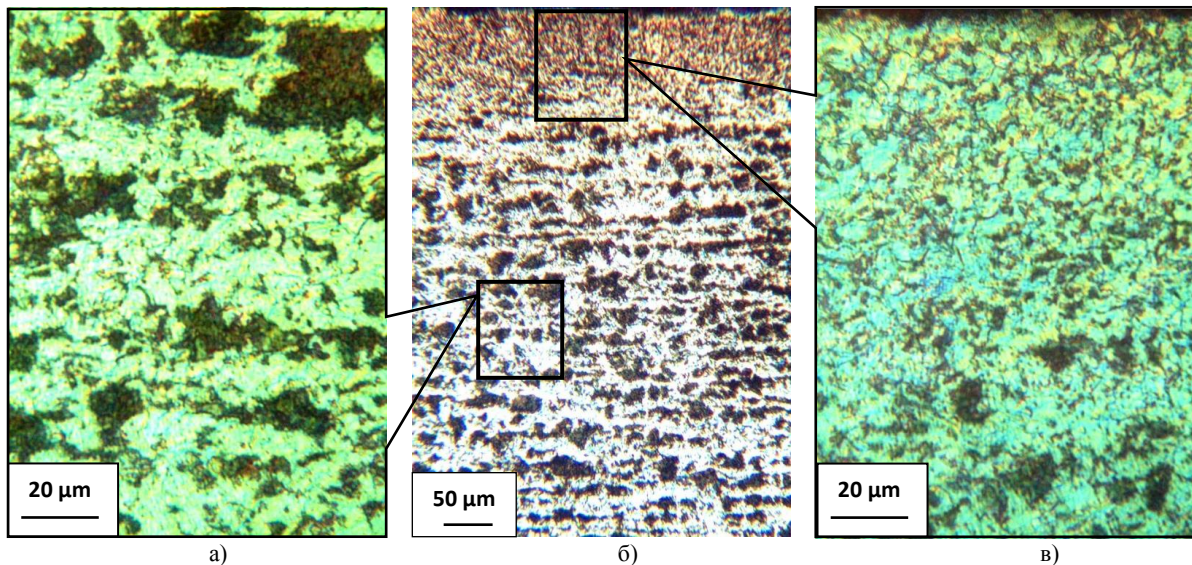
При провеждане на комбинираното въздействие се формират две зони – зона с уякчен слой и зона с изходната структура на материала. Тези зони притежават различна морфология, а съответно и различни механични характеристики. Част от резултатите от изследваните и получени микроструктури на опитните образци са дадени на фигурите по-долу.



Фиг.6.16 Структура на обработен образец с вътрешен диаметър $D=40$ mm

а) изходна структура на материала на заготовката; б) структура на шифа с две обособени зони; в) структура на уякчения слой на материала на заготовката

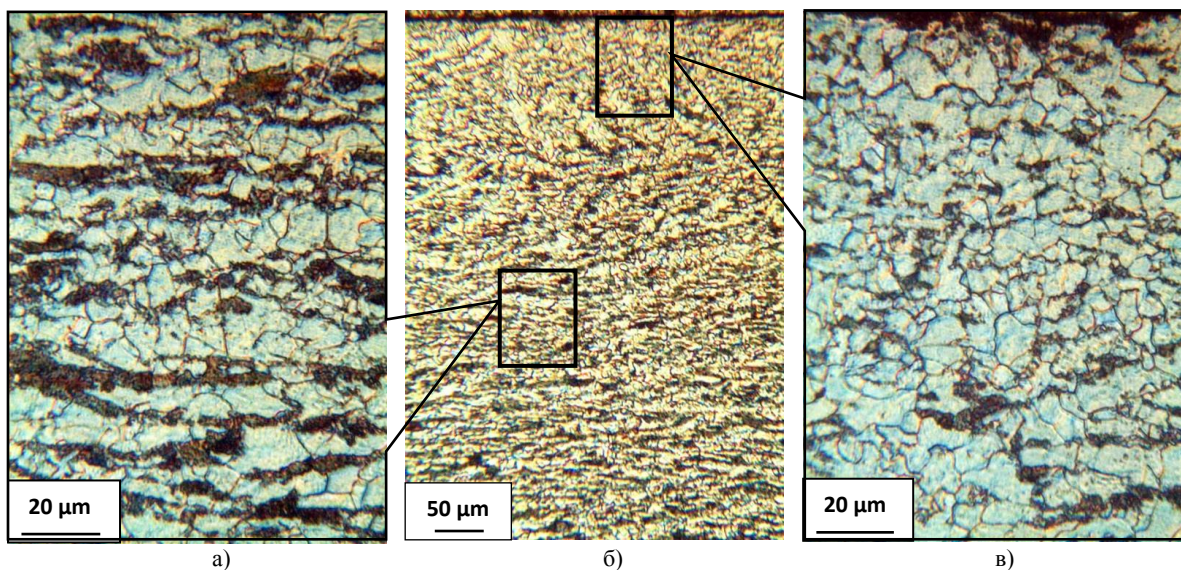
Проведеното комбинирано въздействие на вътрешните повърхнини на цилиндричните детайли води до повишаване на твърдостта на повърхността. След въздействие с усилие $F_1=F_2=2000$ N при обработван вътрешен диаметър $D=40$ mm и скорост на рязане $V=120$ m/min се получава издребняване на микроструктурата на материала (фиг.6.16 и фиг.6.17), което води до увеличаване на твърдостта в границите $230\div 345\text{HV}_{0,03}$.



Фиг.6.17 Структура на обработен образец с вътрешен диаметър $D=40$ mm

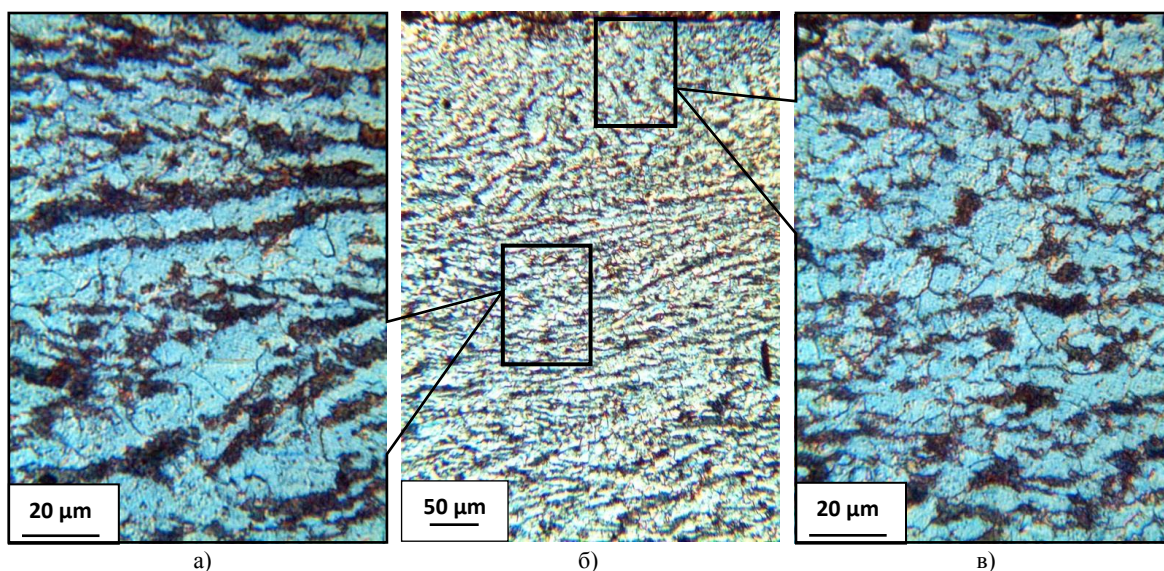
а) изходна структура на материала на заготовката; б) структура на шлифа с две обособени зони; в) структура на уякчения слой на материала на заготовката

Макар и в по-малка степен уякчаване настъпва и при комбинирано въздействие с усилие $F_1\approx F_2=2500$ N при обработване на вътрешен диаметър $D=100$ mm и скорост на рязане $V=150$ m/min. В този случай след уякчаването се получава рекристаллизация (удряване на зърната) в следствие на повишаване на температурата (фиг.6.19 и фиг.6.20). Поради високата скорост на рязане и голямата стойност на приложеното усилие се получава задиране, при което охлаждащата течност не може да проникне между обработваната повърхнина и деформиращите елементи. Това води до повишаване на температурата в зоната на обработка и протичане на рекристаллизация.



Фиг.6.19 Структура на обработен образец с вътрешен диаметър $D=100$ mm

а) изходна структура на материала на заготовката; б) структура на шлифа с две обособени зони; в) структура на уякчения слой на материала на заготовката



Фиг.6.20 Структура на обработен образец вътрешен диаметър D=100 mm

а) изходна структура на материала на заготовката; б) структура на шлифа с две обособени зони; в) структура на уякчения слой на материала на заготовката

В този случай анализирането на шлифовете показва, че твърдостта се изменя в малки граници. Има увеличаване на твърдостта едва около 20÷40HV(фиг.6.19).

6.4. Изводи

1. За определяне на контактните напрежения и деформации се прилага обобщен теоретично-експериментален метод, основаващ се на моделирането на технологичната система натоварена с получени по експериментален път сили.

2. Този подход позволява да се намалят значително броя на опитите при определяне на конструкцията на направляващите заглаждащи елементи.

3. Разработеният комбиниран инструмент, позволяващ промяна на основните конструктивни и геометрични параметри, дава възможност да се проверят различни конструктивни варианти, особено с промяна на ъглите ψ_1 , ψ_2 и δ_1 , δ_2 (фиг.5.1).

4. Експерименталното изследване на някои конструктивни варианти показва, че при използването на направляващо-заглаждащи елементи с прекъсната форма (фиг.6.2 б), контактните напрежения нарастват 4÷5 пъти, а максималните деформации 2÷4 пъти (табл.6.6).

5. Определени са стойностите на ъглите δ_1 и δ_2 , при които се получава грапавост $Ra=0,3\div0,8 \mu m$, като се доказва, че не е достатъчно само силите F_1 и F_2 да са приблизително еднакви, но и коефициентите на устойчивост S_1 и S_2 трябва да са по-големи от 1.

6. Доказана е граница за силите $F_1 < 2500 N$ и $F_2 < 2500 N$, като необходимо, но не достатъчно условие. При разлики между силите F_1 и F_2 в границите до 25% инструмента работи устойчиво при условие, че S_1 и S_2 са по-големи от 1.

7. Влиянието на предварително получената грапавост (наследствена грапавост) не трябва да надвишава $Ra=1,4 \mu m$, в противен случай не се постига заглаждащ ефект.

8. Проведени са планирани експерименти и са получени регресионни зависимости за определяне на грапавостта при различни режими на обработка.

9. Анализът на получената след измерване грапавост, доказва получаването на заглаждащия ефект в следствие на обработката с комбинирания инструмент за последователно въздействие.

10. Анализът на получените данни за отклонението от точност на размера, кръглост и цилиндричност и построените кръглограми показва, че получаваните стойности варират в малки граници и са малки по стойност, което покрива изискванията, поставяни към такъв тип детайли (хидравлични елементи):

➤ За обработван вътрешен диаметър $D=100$ mm отклонението от точност на размера варира в границите $100,060\div 100,071$ mm, отклонението от кръглост е в границите $0,021\div 0,031$ mm, а отклонението от цилиндричност е $0,032$ mm;

➤ За обработван вътрешен диаметър $D=75$ mm отклонението от точност на размера варира в границите $75,019\div 75,034$ mm, отклонението от кръглост е в границите $0,020\div 0,026$ mm, а отклонението от цилиндричност е $0,025$ mm;

➤ За обработван вътрешен диаметър $D=40$ mm отклонението от точност на размера варира в границите $40,013\div 40,056$ mm, отклонението от кръглост е в границите $0,010\div 0,043$ mm, а отклонението от цилиндричност варира в границите $0,017\div 0,035$ mm.

11. Направеният анализ на изследваните микроструктури на металографските шлифове показва, че се формират две зони – зона с уякчен слой и зона с изходната структура на материала. Това означава, че е протекла пластичната деформация очаквана от обработката с комбинирания инструмент.

12. При измерване на микротвърдостта след комбинирано въздействие с усилие $F_1=F_2=2000$ N при обработван вътрешен диаметър $D=40$ mm и скорост на рязане $V=120$ m/min се получава издребняване на микроструктурата на материала, което води до значително увеличаване на твърдостта в границите $230\div 345$ HV_{0,03}. Това означава, че след обработка се е получило търсеното повърхностно уякчаване на материала.

13. Измерената микротвърдост получена при комбинирано въздействие с усилие $F_1\approx F_2=2500$ N при обработване на вътрешен диаметър $D=100$ mm и скорост на рязане $V=150$ m/min показва настъпване на уякчаване в малка степен и протичане на рекристализация в следствие на повишаване на температурата. Високата скорост на рязане и голямата стойност на приложеното усилие водят до задиране, при което охлаждащата течност не може да проникне между обработваната повърхнина и деформиращите елементи. Това води до повишаване на температурата в зоната на обработка и протичане на рекристализация. В този случай анализиранието на шлифовете показва, че твърдостта се изменя в малки граници около $20\div 40$ HV. Това доказва още веднъж, че обработката трябва да се извършва с усилие и скорост на рязане по-малки от посочените.

ОБЩИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият дисертационен труд представлява теоретично-експериментална методика за проектиране на комбиниран инструмент за обработване на отвори с последователно въздействие и изследване на параметрите на качество, получени в следствие обработката с такъв инструмент.

Научната новост на дисертацията е свързана с разработването на комбиниран инструмент за разширяване на отвори, работещ чрез снемане на стружка и едновременно заглаждане с два елемента, които работят при условия на триене при плъзгане и играят роля на направляващи опори. Във връзка с тази разработка е излязло решение за регистрация на полезен модел с входящ № 2472/18.06.2013 г. от Патентното ведомство на Република България.

Получените резултати от проведените теоретични и експериментални изследвания и получените след обработка параметри на качеството показват, че темата на дисертацията е актуална и представлява интерес от научна гледна точка и в същото време е с голямо значение за развитието на технологичните процеси за обработване на отвори. Като обобщение може да се каже, че целта на дисертационния труд е осъществена чрез изпълнението на поставените задачи, в следствие на което са направени следните основни изводи:

1. От направения литературен обзор в научната литература са известни конструкции за свредла за дълбоки отвори, работещи по комбинирания метод, но при тях водещите пластини не извършват пластична деформация. При предлагания комбиниран инструмент се извършва разширяване на отвор (разстъргване) на отвора и заглаждане на неговата повърхнина при триене при плъзгане на относително неподвижни елементи. Не е изследвано влиянието на деформацията на инструмента, вследствие на което се получава заглаждане на обработения отвор.

2. Подбрана е най-подходящата схема на изрязване на прибавката и схема на връзване на инструмента необходими за конструирането му. Предложената методиката за определяне на диаметъра на инструмент с три режещи пластини позволява в зависимост от дължината на режещия ръб на пластината да се определят различни диаметри. Различните варианти на схемата на натоварване за свредловане и разстъргване, позволяват да се определи силовото натоварване на инструмента, в зависимост от ъглите на разположение на режещите пластини ψ_1 и ψ_2 . Изведените, в зависимост от квадрантите, в които попадат, математични зависимости за изчисляването на силите, действащите на опорно-заглаждащите елементи са от съществено значение за конструирането на комбинирания инструмент за обработка на отвори.

3. Моделираните и изработените трикомпонентен динамометър и динамометричен инструмент осигуряват измерването съответно на съставляващите F_x , F_y и F_z на силата на рязане и радиалната сила. Получените на тази база резултати служат за извеждане на регресионни уравнения необходими за изследване зависимостта на съставляващите на силата на рязане от режимните и геометричните параметри.

4. Проведените теоретични експерименти доказват същественото влияние на ъглите ψ_1 и ψ_2 и δ_1 и δ_2 , като възможни за управление параметри, влияещи пряко върху показателите на качеството на обработваните повърхнини и потвърждават, че оптималните варианти за инструмент за комбинирана обработка се получават при $F_1 \approx F_2$ и $S_1 > 1$ и $S_2 > 1$.

5. Разработени са модел на комбинирания инструмент на база, на който са разработени четири варианта на инструменти за последователно въздействие и методика за провеждане на експеримента чрез опитната установка за определяне на въздействието на инструмента върху изследвания образец, необходими за провеждането на експерименталните изследвания.

6. Разработена е методика за изследване уякчаването на повърхностния слой на обработения отвор, посредством микроструктурен анализ и са измерени на трикоординатна измервателна машина точността на получавания размер и отклоненията от кръглост и цилиндричност.

7. Приложен е обобщен теоретично-експериментален метод за изследване на контактните напрежения и деформации, основаващ се на моделирането на технологичната система натоварена с получени по експериментален път сили.

8. Доказано е, получаването на заглаждащия ефект в следствие на обработката с комбинирания инструмент за последователно въздействие, с помощта на анализа на получената грапавост.

9. Получените след комбинирана обработка стойности за отклонението от точност на размера, кръглост и цилиндричност варират в малки граници и са малки по стойност и отговарят на поставените изисквания към такъв тип детайли. Това доказва положителния ефект от тази обработка.

10. Изследването на микроструктурите на металографските шлифове потвърждава протичането на повърхностна пластичната деформация, тъй като се формират две зони – зона с уякчен слой и зона с изходната структура на материала.

ПРИНОСИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Настоящата дисертационна работа представлява комплексно теоретично и експериментално изследване на параметрите на качеството при обработване на отвори чрез прилагането на комбинирана обработка, която включва свредловане или разстъргване с последващо заглаждане посредством плъзгането на опорно-заглаждащи елементи. Анализът на получените при теоретико-експерименталните изследвания резултати дава възможност да се формулират следните приноси:

✓ Научно-приложни приноси

1. Разработена е нова схема за обработване на отвори, която включва разстъргване на отвори с последващо заглаждането, което се осъществява чрез триене при плъзгане на относително неподвижни елементи на въздействие. (Решение за регистрация на полезен модел № 2472/18.06.2013 г.).

2. Създадена е методика за аналитично определяне диаметъра на комбиниран инструмент с три режещи пластини за обработка на отвори с последователно действие, при отчитане дължината на режещия ръб на пластините.

3. Разработени са теоретични модели на инструмент за обработване на отвори с различни напречни сечения в зависимост от разположението на режещите пластини (т.е. при различни ъгли ψ_1 и ψ_2) и са изведени силови уравнения за всеки един вариант.

4. Разработените адекватни математични модели за определяне силите, действащи на направляващо-заглаждащите елементи позволяват определяне на тяхното разположение в пространството и могат да се използват при проектирането на инструмент с последователно въздействие.

5. Разработена е методика за изследване на радиалната сила, действаща на инструмента при неговото врязване. Тази методика е от съществено значение за избора на схемата на врязване на инструмента, тъй като от това се определя неговото натоварване.

6. Проведени са аналитични изследвания, в резултат на които са определени оптималните варианти за конструиране на комбинирания инструмент свързани с разположението на режещите и опорно-заглаждащите пластини.

7. Проведени са теоретични експерименти, които потвърждават влиянието на ъглите ψ_1 и ψ_2 и δ_1 и δ_2 , като възможни за управление параметри, влияещи пряко върху показателите на качеството на обработваните повърхнини.

8. Проведени са аналитични изследвания, които потвърждават предположението, че оптималните варианти за инструмент за комбинирана обработка се получават при $F_1 \approx F_2$ и $S_1 > 1$ и $S_2 > 1$.

9. Разработената за разглеждания случай методика за микроструктурен анализ, позволява да се изследва уякчаването на повърхностния слой на обработвания отвор получен след комбинирана обработка.

10. Създаден е компютърно симулационен модел за изследване на напреженията и деформациите в режещата главина на инструмент за свредловане и разстъргване, работещ при комбинирана схема на обработка. Резултатите от симулациите са сравнени с данни получени при експерименталните изследвания в следствие, на което се установява, че модела е адекватен и пресъздава процесите на работа на комбинирания инструмент.

11. Създаден е компютърно симулационен модел за изследване на напреженията и деформациите в детайл обработен с инструмент за свредловане или разстъргване, работещ при комбинирана схема на обработка. Резултатите от симулациите са сравнени с данни получени при експерименталните изследвания в следствие, на което се установява, че модела е адекватен и пресъздава процесите на работа на комбинирания инструмент.

✓ Приложни приноси

1. Разработеният математичен модел за определяне на диаметъра на инструмента с три режещи пластини може да се използва от производители на металоурежещи инструменти при конструирането на подобен такъв.

2. Изработени са трикомпонентен динамометър за измерване на съставляващите F_x , F_y и F_z на силата на рязане и динамометричен инструмент за измерване на радиалната сила при връзване на инструмента.

3. Разработена е методика за изследване на съставляващите F_x , F_y и F_z на силата на рязане. Стойностите им са необходими за проектирането на режещата част на инструмент и за изследване тяхната зависимост от режимните и геометричните параметри.

4. Изведени са адекватни регресионни модели на зависимостите на съставляващите F_x , F_y и F_z на силата на рязане от режимните и геометрични фактори при обработване на отвори.

5. Изработени са инструменти за комбинирана обработка, които позволяват да се изследва влиянието на разположението на опорно-заглаждащите елементи върху обработваната повърхнина чрез промяна на ъглите δ_1 и δ_2 . Тези инструменти позволяват да се проведат експерименталните изследвания и да се потвърдят очакваните ползи от използването на такъв вид инструмент.

6. Инструментите за комбинирана обработка могат да се използват в машиностроенето при обработването на детайли с отвори, към които се предявяват високи изисквания за точност и грапавост или при обработване на хидравлични елементи.

7. Изведени са адекватни регресионни уравнения, даващи възможност да се изследва влиянието на изменението на факторите V [m/min] и s [mm/rev] върху оптимизационния параметър R_a [μm].

8. Разработена е опитната установка за обработка на вътрешни ротационни повърхнини, която се използва, за да се определи въздействието на инструмента върху изследвания образец.

✓ **Методични приноси**

1. Трикомпонентният динамометър и динамометричният инструмент могат да се използват в учебния процес, както на студенти, така и на докторанти за измерване на компонентите на силата на рязане и радиалната сила при връзване на инструмент.
2. Комбинираните инструменти с последователно въздействие могат да се използват в учебния процес за запознаване на студентите с принципно нови инструменти и нова схема за обработка.
3. Опитната установка за изследване на въздействието на инструмента върху изследвания образец може да се използва в учебния процес за провеждане на лабораторни упражнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисертационният труд е насочен към изследване на комбинираните методи за обработка на отвори, към които се предявяват високи експлоатационни характеристики. Изследванията направени в тази насока дават възможност да се управляват параметрите на качеството на обработваните повърхнини. Все по-често към отворите на хидравличните елементи се предявяват завишени изисквания, в тази връзка настоящата дисертация дава едно решение на този проблем и поставя основата за развитие на изследванията в тази насока.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Лефтеров Е.Л., Аврамова Т.Г., „Изисквания при проектирането на свредла за обработка на дълбоки отвори”, сп. „МТТ“, кн. 1, издание ТО на НТС – Варна и ТУ- Варна, 2012 г., ISSN 1312 – 0859, стр. 16-20;
2. Лефтеров Е.Л., Аврамова Т.Г., „Подход за формиране на диаметъра на многоръбови пробивни инструменти”, сп. „МТТ“ кн. 1, издание ТО на НТС–Варна и ТУ-Варна, 2012 г., ISSN 1312 – 0859, стр.20-24;
3. Лефтеров Е.Л., Аврамова Т.Г., „Изследване силите, действащи на водещите и заглаждащи елементи на инструменти за дълбоки отвори”, IX международен конгрес „Машини, Технологии, Материали”, 2012 г., том 1, ISSN 1310-3946, стр. 76 – 78;
4. Георгиев Д. С., Лефтеров Е.Л., Аврамова, Т.Г., „Влияние на конструктивните параметри върху устойчивостта на инструменти за обработка на отвори с направляващи елементи”, Трети международен научен конгрес, 50 години Технически Университет – Варна, vol.4, Варна, 2012, ISBN 978-954-20-0553-7, стр.55-58;
5. Георгиев Д. С., Лефтеров Е.Л., Аврамова, Т.Г., „Лабораторна установка за изследване на технологичните въздействия и влиянието им върху качествените показатели на обработвани отвори”, Трети международен научен конгрес, 50 години Технически Университет – Варна, vol.4, Варна, 2012, ISBN 978-954-20-0553-7, стр.59-62;
6. Аврамова Т.Г., „Избор на направляващи елементи на инструменти за обработка на отвори с последователно въздействие ”, сп. „МТТ“, кн. 1, издание ТО на НТС – Варна и ТУ-Варна, 2012 г., ISSN 1312 – 0859, стр. 55-58;

7. Lefterov Ev., Avramova T, “Modeling the high speed process for smoothing of holes”, International virtual journal – Machines, Technologies, Material, Scientific technical Union of Mechanical Engineering, Year VII, Issue 10, 2013, ISSN 1313-0226, p.65-68.

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

маг. инж. Таня Георгиева Аврамова

**Диссертация
на соискание ученой и образовательной степени доктора**

РЕЗЮМЕ

Настоящая диссертационная работа представляет собой комплексное теоретическое и экспериментальное исследование параметров качества при обработке отверстий путем применения комбинированной обработки, которая включает сверление или расточку с последующим заглаживанием посредством скольжения опорно-заглаживающих элементов.

Процесс проектирования комбинированного инструмента с последовательным воздействием охватывает определение: расположения опорно-заглаживающих элементов металлообрабатывающих инструментов; параметров, влияющих на комбинированную обработку – силы F_1 и F_2 , действующие в направляющих и коэффициенты устойчивости S_1 и S_2 ; исследование влияния положения в пространстве, размеров, формы и других параметров элементов направления и заглаживания при обработке внутренних цилиндрических поверхностей; исследование условий трения и их влияние, как на шероховатость, так и на форму обрабатываемых поверхностей.

В диссертации предложены адекватные математические модели определения диаметра инструмента для обработки отверстий с тремя режущими пластинами при его конструировании, и сил, действующих на опорно-заглаживающие элементы. Предлагаемые методики дают возможность исследовать факторы, влияющие на параметры качества обрабатываемых посредством комбинированного метода поверхностей, и могут успешно найти реализацию в практике.

Научная новизна диссертации связана с разработкой комбинированного инструмента для расширения отверстий, работающего путем снятия стружки и одновременного заглаживания двумя элементами, которые работают в условиях трения при скольжении и играют роль направляющих опор. В связи с этой разработкой подана заявка № 2472/18.06.2013 г. на регистрацию полезной модели в Патентном ведомстве Республики Болгария.

MANAGEMENT OF THE QUALITY PARAMETERS OF TREATED SURFACES BY APPLYING COMBINED TECHNOLOGICAL IMPACTS

By Eng. Tanya Georgieva Avramova, MSc.

Thesis

For acquiring academic and educational degree “Doctor”

SUMMARY

This thesis is a complex theoretical and empirical study on the quality parameters during processing of openings by application of combined treatment, which includes drilling or boring with subsequent smoothing by sliding supporting and smoothing elements.

The design process of the combined instrument with consequential impact covers the identification of: the location of the supporting and smoothing elements of the metal processing instruments; the parameters affecting the combined treatment – the forces F_1 and F_2 , acting in the guiding elements and the stability coefficients S_1 and S_2 ; studying the impact of the position within the space, the size, form and other parameters of the elements of directing and smoothing during processing of internal cylindrical surfaces; studying the friction conditions and their impact both on the roughness and on the form of the treated surfaces.

The thesis proposes adequate mathematic models for defining the diameter of an instrument for processing openings with three cutting plates during its construction and the forces acting on the supporting and smoothing elements. The proposed methodologies provide an opportunity to study the factors having impact on the quality parameters of the surfaces treated through the combined method and can be successfully implemented in practice.

The scientific novelty of the thesis is related to the development of a combined instrument for expansion of openings, working through removal of a chip and parallel smoothing with two elements, working under friction conditions when sliding, which play the role of guiding supports. In relation to this study, application № 2472/18.06.2013 has been submitted for registration of a utility design in the Patent Office of the Republic of Bulgaria.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изказвам благодарности на своя научен ръководител доц. д-р инж. Евстати Лефтеров за неговите съвети и компетентно ръководство, както и на всички свои колеги, които ме подкрепиха и ми помогнаха със своя опит и съвети да реализирам този дисертационен труд.

Благодаря на семейството и съпруга си за голямата подкрепа, кураж и търпение, оказани по време на работата ми по дисертацията.